



From Mental Models to Curricular Models through Model-Based Learning: A study with Graduation Students about Natural Hazards

Sara Batista Gomes Moutinho

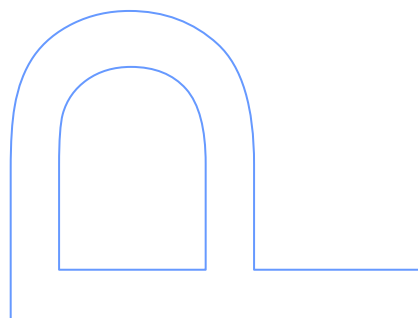
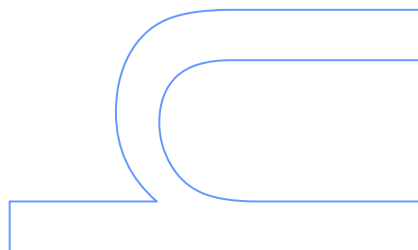
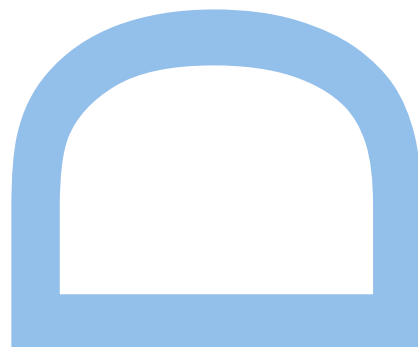
Programa Doutoral em Ensino e Divulgação das Ciências
Unidade de Ensino das Ciências
2017

Orientador

Clara Maria da Silva de Vasconcelos, Professora Auxiliar com Agregação,
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Coorientador

Rui Miguel Marques Moura, Professor Auxiliar,
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto





FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

**FROM MENTAL MODELS TO CURRICULAR MODELS
THROUGH MODEL-BASED LEARNING: A STUDY WITH
GRADUATION STUDENTS ABOUT NATURAL HAZARDS**

**DOS MODELOS MENTAIS AOS MODELOS CURRICULARES
ATRAVÉS DA MODELAÇÃO: UM ESTUDO NO ENSINO
SUPERIOR NA TEMÁTICA DOS RISCOS NATURAIS**

Sara Batista Gomes Moutinho

Tese submetida à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
para a obtenção do grau de Doutor em Ensino e Divulgação das Ciências
(especialização em Ensino das Ciências).

Sob orientação de Clara Maria da Silva de Vasconcelos, Professora Auxiliar
com Agregação, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
Sob coorientação de Rui Miguel Marques Moura, Professor Auxiliar,
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Porto, abril de 2017

*O mais indispensável ao Homem é reconhecer
o uso que deve fazer do seu próprio conhecimento.*

Platão

Índice

Agradecimentos	xv
Resumo	xvii
Abstract	xxi
Lista de figuras	xxiii
Lista de tabelas	xxv
Lista de abreviaturas	xxvii

1. Introdução geral	1
1.1. Enquadramento do estudo	3
1.2. Problema e objetivos da investigação	7
1.3. Organização da tese	9
1.4. Listagem de publicações	15
1.4.1. Artigos em revistas internacionais indexadas	15
1.4.2. Artigo constituinte de um capítulo em livro de editora internacional	16
1.4.3. Artigos em revistas com arbitragem científica	16
1.4.4. Publicações apresentadas em congressos internacionais (Proceedings)	16
1.4.5. Trabalhos apresentados em encontros nacionais	17
1.5. Referências bibliográficas	19

2. Modelos mentais, modelos curriculares e modelação	21
2.1. Portuguese teachers' views about geosciences models	23
2.1.1. Abstract and keywords	23
2.1.2. Objectives	24
2.1.3. Framework	24
2.1.4. Methodology	26
2.1.5. Results	27

2.1.6. Conclusions	31
2.1.7. References	31

2.2. Students' Mental Models about the effects of earthquakes

on soils and buildings	33
2.2.1. Abstract and keywords	33
2.2.2. Introduction	34
2.2.3. Theoretical Framework	35
2.2.4. Methodology	37
2.2.5. Results	38
2.2.6. Conclusions	39
2.2.7. References	40

3. História da sismologia: estudo dos sismos, sismógrafos

e mesas sísmicas 43

3.1. História da Ciência nos manuais escolares: os sismógrafos

e o desenvolvimento da sismologia	45
3.1.1. Resumo e palavras-chave	45
3.1.2. Abstract and keywords	47
3.1.3. Introdução	48
3.1.3.1. Os sismógrafos e o desenvolvimento da sismologia	48
3.1.3.2. História da Ciência nas aulas de Ciências Naturais	53
3.1.4. Método	55
3.1.5. Resultados e discussão	57
3.1.5.1. Tipo e organização da informação histórica	57
3.1.5.2. Os documentos históricos referenciados	65
3.1.5.3. Correção e adequação da informação histórica	68
3.1.5.4. Contextualização dos conteúdos históricos	69
3.1.5.5. Estatuto dos conteúdos históricos	70
3.1.5.6. Propostas de atividades envolvendo a História da Ciência	72
3.1.6. Conclusão e agradecimentos	74
3.1.7. Referências bibliográficas	76

3.2. John Milne, the man who mapped the shaking earth: Vida e obra de um dos pioneiros da sismologia	79
3.2.1. Resumo e palavras-chave	79
3.2.2. Introdução	80
3.2.3. Metodologia	81
3.2.4. Resultados	82
3.2.4.1. A Terra do Sol Nascente	83
3.2.4.2. Milne, o sismólogo	84
3.2.4.3. A Ilha de Wight	87
3.2.5. Conclusões	89
3.2.6. Referências bibliográficas	89

4. Recurso à modelação no Ensino Superior português 91

4.1. O recurso à Modelação no Ensino Superior: o caso dos Riscos Naturais	93
4.1.1. Resumo e palavras-chave	93
4.1.2. Abstract and keywords	94
4.1.3. Introdução	95
4.1.4. Enquadramento teórico	96
4.1.4.1. Importância dos Modelos nos processos de aprendizagem	96
4.1.4.2. Modelação no ensino das ciências (geociências)	99
4.1.5. Metodologia	101
4.1.6. Apresentação e discussão dos resultados	102
4.1.7. Conclusões e agradecimentos	106
4.1.8. Referências bibliográficas	107

5. Validação de instrumentos de recolha de dados 111

5.1. Mental Models about Seismic effects: Students' profile based comparative analysis	113
5.1.1. Abstract and keywords	113
5.1.2. Introduction	114
5.1.2.1. Curricular Model about seismic effects on soils and buildings	116

5.1.2.2. The research question	118
5.1.3. Methodology	120
5.1.3.1. Development of the DI	120
5.1.3.2. Implementation of the DI	121
5.1.3.3. The sample	122
5.1.4. Results and discussion	123
5.1.4.1. Students' answers	123
5.1.4.2. Students' inconsistent mental models	124
5.1.4.3. Comparison of undergraduate and master students' profiles	131
5.1.5. Conclusions	133
5.1.6. References	134
 5.2. Simulating an earthquake and its effects on soils and buildings: A practical activity to disseminate geosciences and its evaluation	 139
5.2.1. Abstract and keywords	139
5.2.2. Introduction	140
5.2.2.1. Communication of Science vs Dissemination of Science	140
5.2.2.2. The importance of Mental Models and Model-Based Learning in geosciences education	144
5.2.2.3. Faculty of Sciences' Open Days to Schools: A practical activity to disseminate geosciences	146
5.2.3. Methodology	150
5.2.4. Results and Discussion	151
5.2.5. Conclusions	152
5.2.6. References	153
 5.3. Modelação em Geociências nos Dias Abertos às Escolas	 157
5.3.1. Resumo e palavras-chave	157
5.3.2. Abstract and keywords	158
5.3.3. Introdução	159
5.3.4. Enquadramento teórico	160
5.3.5. Metodologia	161
5.3.6. Resultados	162

5.3.7. Conclusão	165
5.3.8. Referências bibliográficas	165

6. Desenvolvimento e aplicação do Programa de Intervenção 165

6.1. O efeito dos sismos em solos e edifícios: Aplicação de um Programa de Intervenção dirigido a estudantes de licenciatura recorrendo à Modelação	169
6.1.1. Resumo e palavras-chave	169
6.1.2. Abstract and keywords	170
6.1.3. Introdução	171
6.1.3.1. Modelos para o ensino	171
6.1.3.2. Modelos computacionais	172
6.1.3.3. Modelos físicos	173
6.1.3.4. Modelos mistos	174
6.1.4. Desenvolvimento e aplicação do Programa de Intervenção (PI)	176
6.1.4.1. Primeira aula: modelo computacional	176
6.1.4.2. Segunda aula: modelo físico	179
6.1.4.3. Terceira aula: modelo misto	182
6.1.5. Metodologia	185
6.1.6. Resultados e discussão	186
6.1.6.1. Características dos modelos	186
6.1.6.2. Papel dos cientistas no processo de aceitação dos modelos	189
6.1.7. Conclusões e agradecimentos	192
6.1.8. Referências bibliográficas	193

7. Análise e discussão dos resultados 197

7.1. Model-Based Learning applied to Natural Hazards	199
7.1.1. Abstract and keywords	199
7.1.2. Resumen y palabras clave	200
7.1.3. Introduction	201
7.1.4. Methodology applied in the investigation	206

7.1.5. Results and discussion	207
7.1.5.1. Nonparametric test – Wilcoxon Test for paired samples	208
7.1.6. Conclusions and acknowledgements	209
7.1.7. References	210
 7.2. Mental Models about Natural Hazards: A study with graduation students	 213
7.2.1. Abstract and keywords	213
7.2.2. Introduction	214
7.2.3. Theoretical framework	215
7.2.3.1. Mental Models and Model-Based Learning in Science Education	215
7.2.4. Methodology	218
7.2.5. Results	219
7.2.5.1. Wilcoxon Test for the analysis of the data	219
7.2.6. Conclusions and acknowledgments	220
7.2.7. References	221
 7.3. Contributions of Model-Based Learning to the restructuring of graduation students' Mental Models on Natural Hazards	 223
7.3.1. Abstract, keywords, state of literature and contribution to the literature	223
7.3.2. Introduction	225
7.3.3. Research problem and aims	228
7.3.4. Methodology	229
7.3.4.1. Study sample	229
7.3.4.2. Intervention Program	230
7.3.4.3. Instruments for data collection	230
7.3.5. Results and discussion	233
7.3.5.1. Development of students' Mental Models	233
7.3.5.2. Assessment of the typologies of Models	241
7.3.5.3. The importance of the Models and Modeling in Science	243
7.3.6. Conclusions	246
7.3.7. References	249

8. Considerações finais	253
8.1. Conclusões gerais do estudo	255
8.2. Limitações do estudo	263
8.3. Considerações e implicações em futuras investigações	265
8.4. Referências bibliográficas	267
 Apêndices	 269

Agradecimentos

Na reta final desta longa jornada importa relembrar todos aqueles que, de alguma forma influenciaram, ajudaram e apoiaram todo o trabalho desenvolvido, pois todos eles deixaram a sua marca nesta obra. Assim:

Agradeço à Professora Clara Vasconcelos toda a orientação, ajuda, disponibilidade, conselhos, apoio e amizade, porque todo este trabalho não seria possível sem ela. Agradeço também a determinação com que sempre acreditou neste trabalho e no meu potencial. Mas acima de tudo, agradeço a oportunidade que me deu de trabalhar consigo em áreas e em temas distintos, fazendo-me *pensar fora da caixa* e olhar para todos os desafios como potenciais oportunidades de mudança e crescimento.

Agradeço ao Professor Rui Moura pela coorientação do trabalho, pela ajuda no desenvolvimento dos modelos, pelos ensinamentos e esclarecimentos de todo o conteúdo científico relacionado com a sismologia, os sismógrafos, os riscos geológicos, o risco sísmico, etc. Agradeço também a disponibilidade e ajuda na preparação e lecionação das aulas de Riscos Geológicos.

À Joana Torres agradeço o companheirismo, amizade, ajuda e apoio durante estes quatro anos. Esta jornada não teria sido a mesma sem as dúvidas e indecisões, o olho clínico, os trabalhos de grupo, as viagens para congressos, as dormidas em aeroportos, os almoços na faculdade, as gargalhadas e as situações mais inusitadas... basicamente, estes quatro anos não teriam sido os mesmos sem a Joana!

Obrigada ao Professor José Manuel Santos pela ajuda na compreensão das fórmulas dos coeficientes de similaridade e congruência, e na determinação dos seus valores.

Aos estudantes que frequentaram as aulas de Riscos Geológicos no ano letivo 2014/2015, e que, voluntariamente, integraram a amostra do estudo, agradeço a disponibilidade e boa disposição. Além de simpáticos e divertidos, foram sempre muito prestáveis e colaborativos no preenchimento de todos os questionários, escalas, e na

disponibilidade para participar nas entrevistas. A concretização deste estudo também se deve a eles.

Não posso deixar de agradecer também àqueles que me acompanham desde 2007, desde as aulas de Biologia dos Invertebrados nos *Leões*, às aulas de Biologia Molecular no Botânico, desde os serões no Piolho às noitadas na Ribeira, desde os jantares e noites da Queima à casa do povo, desde as praxes no jardim da faculdade às praxes nos *Leões*. Obrigada pelas piadas, pelas brincadeiras, pela galhofa, pelas canções improvisadas, pelos ENEB's pelo país fora, pelos Saraus no Sá da Bandeira, pelos nomes e alcunhas *mal-amanhadas*... Obrigada BioFocas, nós somos os maiores! *As BioFocas é que rulam. Eu digo saltem, e elas pulam!*

Obrigada a todos aqueles que, na Porto Editora, me acompanham diariamente, na coordenação de manuais, e nas vivências e experiências que, de uma forma ou de outra, também contribuíram para o resultado final deste trabalho.

À minha família, em especial aos meus pais, à minha irmã e ao Helder, agradeço o apoio incondicional, as palavras de incentivo e coragem, por sempre terem acreditado em mim, e por sempre me terem dado ânimo e força para continuar.

Resumo

Desde a revolução cognitiva que marcou os anos 60, a Educação em Ciências tem dado especial atenção ao desenvolvimento cognitivo dos estudantes, o que pressupõe a construção dos seus conhecimentos, e por isso se valoriza a adoção/implementação de metodologias que promovam a sua aprendizagem significativa. Do ponto de vista cognitivo, este trabalho assenta nos pressupostos da Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird, valorizando-se os modelos mentais, enquanto representações do mundo exterior desenvolvidas pela mente dos sujeitos, como importantes ferramentas no desenvolvimento da capacidade de explicar e prever fenómenos. Embora cientificamente inconsistentes, são extremamente úteis e funcionais para os sujeitos, que se socorrem deles para resolverem situações-problema, constituindo por isso o seu conhecimento prévio. De acordo com esta teoria, não existe apenas um único modelo mental para representar um conceito ou sistema, na verdade podem existir vários modelos diferentes, todos igualmente corretos. Assim, torna-se fundamental diagnosticar os modelos mentais dos estudantes, destacando-se o papel do professor enquanto agente promotor da aprendizagem. Neste sentido, a aprendizagem pressupõe a reestruturação dos modelos mentais dos estudantes, tornando-os consistentes com os modelos curriculares – simplificações cientificamente congruentes dos modelos científicos, geralmente integradas nos currículos escolares. Para que a aprendizagem seja significativa, a reestruturação dos modelos mentais deve acontecer natural e espontaneamente, através de metodologias que permitam aos estudantes avaliar a importância dos modelos e, a relacioná-los com o seu conhecimento prévio. Neste estudo apostou-se no Model-Based Learning (MBL) por se reconhecer o seu valor pedagógico, já que permite dar resposta a situações-problema, através da construção de modelos que incorporam os modelos curriculares, sendo responsável pelo desenvolvimento de ferramentas conceptuais para a reestruturação dos modelos mentais dos estudantes. Assim, pretendeu-se averiguar se a utilização de modelos (modelo computacional, modelo físico e modelo misto) na avaliação do “efeito dos sismos em solos e edifícios”, interfere na aprendizagem significativa de estudantes do ensino superior. Para solucionar este problema definiram-se vários objetivos, que incluíram a avaliação do tipo de modelos utilizados no ensino da temática “efeito dos sismos em solos e edifícios” em unidades curriculares de Riscos Naturais; o diagnóstico dos modelos mentais dos 20 estudantes (universo) da unidade curricular de Riscos Geológicos na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, no ano letivo

2014/2015, bem como a sua evolução relativamente à temática enunciada; e a determinação das potencialidades e limitações dos diferentes tipos de modelos (modelo computacional, modelo físico e modelo misto) na promoção da aprendizagem significativa destes estudantes. A opção por esta unidade curricular, resulta dos interesses da autora e devido à sua formação académica nas áreas do ensino da Biologia e da Geologia. Para o efeito, foi também desenvolvido e aplicado um programa de intervenção, integrando a aplicação de cada um dos três modelos, com vista à exploração do “efeito dos sismos em solos e edifícios” em estudantes que integraram a amostra do estudo. Do ponto de vista metodológico, utilizou-se a combinação de métodos quantitativos e qualitativos, recorrendo-se à triangulação metodológica para a recolha e o tratamento dos dados. Para o efeito foram desenvolvidos e validados vários instrumentos de recolha de dados, nomeadamente: um pré e pós-teste para o diagnóstico e a avaliação da evolução dos modelos mentais dos estudantes da amostra; uma *Escala de Avaliação de Modelos de Sismologia* (SMES), uma escala de likert para classificação de afirmações relacionadas com os modelos explorados durante o programa de intervenção; um questionário sobre *Modelos e Modelação na Ciência* (MMS) para levantamento das opiniões dos estudantes sobre a importância dos modelos e do recurso à modelação na Ciência, e o papel dos cientistas na construção e validação dos modelos; e entrevistas semiestruturadas a realizar a alguns estudantes da amostra para esclarecimento de dúvidas com origem na análise das suas respostas nos restantes instrumentos. Os resultados deste trabalho permitiram concluir que a leção de temáticas relacionadas com os Riscos Naturais é frequente em várias instituições de ensino superior público, embora o recurso à modelação (MBL) como metodologia de ensino potenciadora da aprendizagem não seja uma prática comum. Embora não se tenha verificado uma total inconsistência dos modelos mentais dos estudantes relativamente aos efeitos dos sismos em solos e edifícios, verificou-se uma melhoria nos seus resultados, do pré-teste para o pós-teste, o que indicia a reestruturação dos seus modelos mentais relativamente a estes conteúdos, tendo-se verificado que estes resultados são significativos no contexto da investigação. Foi também possível listar as principais vantagens e limitações dos três tipos de modelos explorados, destacando-se: a praticidade e simplicidade do modelo computacional, apesar das suas restrições relativamente à definição das variáveis em estudo e da adaptabilidade do software a diferentes contextos; a objetividade e o aspeto visual do modelo físico, apesar da dificuldade da sua manipulação e transporte dadas as suas dimensões; e a clareza e o realismo do modelo misto que, apesar da dificuldade no seu transporte e manipulação, se revelou o modelo com o maior contributo efetivo na

reestruturação dos modelos mentais dos estudantes, sendo estes resultados também significativos neste contexto. Finalmente, realça-se também a percepção demonstrada pelos estudantes relativamente à importância dos modelos e o papel dos cientistas no desenvolvimento e aceitação dos modelos científicos, reforçando-se, assim, o valor e o potencial do Model-Based Learning como metodologia potenciadora do desenvolvimento da literacia científica dos estudantes, em paralelo com a promoção da sua aprendizagem significativa.

Palavras-chave

Modelos Mentais, Modelos Curriculares, Modelos para o Ensino, Modelação, Riscos Naturais, Ensino Superior.

Abstract

Since the cognitive revolution of the 1960s, Science Education has given special attention to students' cognitive development, which assumes the construction of their knowledge. Because of this, it is enriched the adoption/implementation of methodologies, which promote their meaningful learning. From the cognitive perspective, this study is based on the assumptions of Johnson-Lairds' Mental Models' Theory, highlighted the mental models as representations of the natural world that are developed by the human mind. They are important tools in the development of the capability to explain and predict phenomena. Mental models are not scientifically consistent, however, they are extremely useful and functional for students, who used them to solve problem-situations, making them part of their previous knowledge. According to Mental Models' Theory, there are more than one model to represent a concept or system, actually there are many different, but also, correct models. For all this, it is fulcral to diagnose students' mental models, highlighting the teacher role as knowledge promotor agent. In this sense, learning includes the restructure of mental models, making them more consistent with curricular models – scientifically congruent simplifications of the scientific models, normally integrated in school curricula. To make learning more meaningful, the restructuring of mental models should occur naturally and spontaneously, through methodologies that allow students to evaluate the importance of models and, correlate then with their previous knowledge. In this study was used Model-Based Learning (MBL), because of its pedagogical value, since it allows to solve problem-situations through the construction of models that embody curricular models, being responsible for the development of conceptual tools to the restructure of students' mental models. Having this in mind, it was intended to analyze if the use of models (computational model, physical model and mixed model) in the evaluation of "seismic effects on soils and buildings", influences the meaningful learning of graduation students. To solve this problem, it was defined some objectives, including the evaluation of the models used to the teaching of the "seismic effects on soils and buildings" in curricular units of Natural Hazards; the diagnostic of mental models from 20 students (universe) of the curricular unit of Geological Hazards in Faculty of Sciences of University of Oporto, in 2014/2015, as well as their evolution concerning the previous subject; and the inquiry of models (computational, physical and mixed models) potentialities and limitations in the promotion of students' meaningful learning. The option for this curricular unit results from the authors' interests and due to her academic background in Biology and Geology

teaching. According to this, it was also developed and applied an intervention program integrated the application of each one of the three models, to explore the “seismic effects on soils and buildings” with students of the study sample. In terms of methodology, it was used the combination of quantitative and qualitative methods, resorted to methodological triangulation for data collection and analysis. As so, it was created and validated many instruments for data collection, such as: a pre and post-test to diagnose and assess the evolution of students’ mental models; a *Seismological Models’ Evaluation Scale* (SMES), a likert scale for the classification of sentences related to the models explored during the intervention program; a *Models and Modelling in Science* (MMS) questionnaire for the collection of students’ opinions about this subject, and the role of scientists in the construction and validation of models; and semi structured interviews to be carried out to some students of the sample to clarify doubts originating from the analysis of their answers in the other instruments. The results of the study led us conclude that the teaching of Natural Hazards subjects is usual in many public graduation institutions, despite of the use of modelling (MBL), as teaching methodology, was not a common practice. There was not a total inconsistency of students’ mental models regarding the “seismic effects on soils and buildings”, however it was verified an improvement in their results, from pre-test to post-test, which indicates the restructuring of their models, and it was verified that these results are significant in the context of the research. It was also possible to list the main advantages and limitations of the three types of models, and it was emphasized: the simplicity of computational model, in spite of its restrictions related to the definition of study variables and the software adaptability of different contexts; the objectivity and the visual aspect of physical model, in spite of its hard manipulation and transportation; and the clarity and realism of the mixed model which, in spite of its transportation and manipulation difficulties, was the model with a bigger contribution in the restructure of students’ mental models, being these results also significant in this context. Finally, we also highlight the perception of students regarding the importance of models and the role of scientists in the development and acceptance of scientific models, reinforcing the potential of Model-Based Learning as methodology that enhances the development of students’ scientific literacy, in parallel with the promotion of their meaningful learning.

Keywords

Mental Models, Curricular Models, Teaching Models, Model-Based Learning, Natural Hazards, Graduation.

Lista de figuras

	Página
Figura 1.1. Esquema organizador representativo da estrutura metodológica da investigação	13
Figura 3.1. Sismoscópio desenvolvido por Chang Heng, em 132 d.C.	49
Figura 3.2. Esboço do sismógrafo desenvolvido por Von Rebeur-Paschwitz, evidenciando a montagem do pêndulo (do lado esquerdo), e o sistema de registo feito com uma lâmpada e papel fotográfico (do lado direito)	51
Figura 3.3. Esboço do sismógrafo de pêndulo horizontal de Milne	52
Figura 3.4. Dados biográficos de Charles Richter e Beno Gutenberg	60
Figura 3.5. Texto de início de capítulo contemplando aspetos diacrónicos	62
Figura 3.6. Réplica do sismógrafo de Chang Heng	64
Figura 3.7. Representações de Charles Richter e Giuseppe Mercalli	67
Figura 3.8. A) Sismograma e B) sismógrafo	67
Figura 3.9. A) Sismógrafo do século XIX, B) <i>Gaiola Pombalina</i>	68
Figura 3.10. Excerto de um texto do manual C	71
Figura 3.11. Páginas do início do capítulo “Atividade sísmica como consequências da dinâmica interna da Terra”	72
Figura 3.12. Exemplo de atividade de História da Ciência prioritária e de leitura guiada	74
Figura 3.13. John Milne (1850 – 1913)	82
Figura 3.14. Sismógrafo de Gray-Milne	86
Figura 3.15. Mesa sísmica de Milne-Omaro (1890)	87
Figure 5.1. Conceptual relation between hazard, vulnerability, and risk	117
Figure 5.2. Concept map framework developed for the DI	118
Figure 5.3. Example of a complete item with both tiers	120

Figure 5.4. Comparison between the ideal profile and the profiles of each group of students (undergraduate and master students)	132
Figure 5.5. Seismic effects on buildings as a function of their distance to the epicenter	147
Figure 5.6. Seismic shaking table (A) with the indication of the three modules (B) ..	148
Figure 5.7. Soil movement on strand zones: side view (A) and front view (B)	149
Figura 6.1. Modelo computacional <i>Earthquakes, Make-a-Quake: Earthquake Simulator</i>	177
Figura 6.2. Cenário de problematização <i>A Terra está a tremer: o que é que vai acontecer?</i>	178
Figura 6.3. Documento de exploração do modelo computacional	179
Figura 6.4. Modelo físico – mesa sísmica, com pormenor do motor mecânico	180
Figura 6.5. Variáveis manipuladas no modelo físico: altura dos edifícios (A), estrutura dos edifícios (B), isolamento sísmico de base (C) e tipo de solo (D) – simulação do efeito de liquefação	180
Figura 6.6. Cenário de problematização <i>Geofísica em ação: Avaliação de risco sísmico</i>	181
Figura 6.7. Documento de exploração do modelo físico	182
Figura 6.8. Modelo misto: componente física (A) e componente computacional (B)	183
Figura 6.9. Registo das ondas sísmicas geradas pela mesa sísmica no modelo misto	183
Figura 6.10. Questões orientadoras para exploração do modelo misto	184
Figure 7.1. Comparison between the ideal profile and the profiles of Pre and Post-Test (n=20)	236

Lista de tabelas

	Página
Tabela 1.1. Distribuição dos capítulos do trabalho pelas partes principais da investigação	10
Table 2.1. Rate of teachers' responses about model of internal structure of Earth	27
Table 2.2. Rate of teachers' answers regarding solar system model	28
Table 2.3. Teachers' answers about model of continental drift and tectonic plates	29
Table 2.4. Teachers' answers frequencies regarding model of mountain chain formation	30
Table 2.5. Answers of the students in the questionnaire	38
Tabela 3.1. Categorias e subcategorias de análise dos manuais de ciências naturais	56
Tabela 3.2. Resultados da análise dos manuais na categoria <i>tipo e organização da informação histórica</i> (n=9)	59
Tabela 3.3. Resultados da análise dos manuais na categoria <i>documentos históricos referenciados</i> (n=9)	66
Tabela 3.4. Resultados da análise dos manuais na categoria <i>contextualização dos conteúdos históricos</i> (n=9)	69
Tabela 3.5. Resultados da análise dos manuais na categoria <i>estatuto dos conteúdos históricos</i> (n=9)	70
Tabela 3.6. Resultados da análise dos manuais na categoria <i>propostas de atividades envolvendo a História da Ciência</i> (n=9)	73
Tabela 4.1. Grelha de análise das fichas das unidades curriculares (n=8)	103
Table 5.1. Students' characteristics (n=52)	122
Table 5.2. Classification of students' answers into <i>Correct</i> and <i>Incorrect</i>	123
Table 5.3. Students' inconsistent mental models revealed by the TTDT	125

Table 5.4. Description of the items of Seismological Models' Evaluation	
Scale (SMES)	150
Table 5.5. Characterization of the students from the study sample (n=126)	151
Tabela 5.6. Frequência (f) e percentagem (%) das respostas dos alunos (n=126) relativamente ao modelo 1 (Distância ao epicentro)	162
Tabela 5.7. Frequência (f) e percentagem (%) das respostas dos alunos (n=126) relativamente ao modelo 2 (Mesa sísmica)	163
Tabela 5.8. Frequência (f) e respetiva percentagem (%) das respostas dos alunos (n=126) relativamente ao modelo 3 (Movimentos de solos em vertentes)	164
Tabela 6.1. Categorias de resposta na questão 1 (n=20)	186
Tabela 6.2. Categorias de resposta na questão 2 (n=20)	187
Tabela 6.3. Categorias de resposta na questão 6 (n=20)	188
Tabela 6.4. Categorias de resposta da questão 3 (n=20)	189
Tabela 6.5. Categorias de resposta da questão 4 (n=20)	190
Tabela 6.6. Categorias de resposta na questão 5 (n=20)	191
Table 7.1. Statistical information about computational, physical and mixed model (n=20)	207
Table 7.2. Results of Wilcoxon test for the three tested hypotheses (n=20)	209
Table 7.3. Students' results in Pre and Post-Test (n=20)	219
Table 7.4. Questions and answers options of the questionnaire about <i>Models and Modelling in Science</i> (MMS)	232
Table 7.5. Classification of students' answers in Pre and Post-test (n=20)	234
Table 7.6. Students' results in Pre and Post-Test (n=20)	240
Table 7.7. Statistical information about computational, physical and mixed model (n=20)	242
Table 7.8. Results of Wilcoxon test for the three tested hypotheses (n=20)	243

Lista de Abreviaturas

C	Coefficient of Simple Congruency
CS	Configurational Similarity Coefficient
DI	Diagnostic Instrument
EMS	Escala Macrossísmica Europeia (European Macroseismic Scale)
FCT	Fundação para a Ciência e Tecnologia
FCUP	Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
HC	História da Ciência
ICT	Instituto de Ciências da Terra
IP	Intervention Program
MMS	Models and Modelling in Science (Questionnaire)
MMSc	Moment Magnitude Scale
NdC	Natureza da Ciência
PI	Programa de Intervenção
PQ	Question Profile
SMES	Seismological Models' Evaluation Scale
S1/2/3/...	Student 1/2/3/...
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
TTDT	Two Tiers Diagnostic Test

1.

INTRODUÇÃO GERAL

1.1.

Enquadramento do estudo

A Educação em Ciências admite que o ensino deve ser centrado no estudante e defende que lhes devem ser fornecidos todos os métodos e instrumentos, para que se promova uma aprendizagem significativa. Face à crescente importância atribuída à aprendizagem significativa no ensino das ciências, reconhece-se a necessidade de serem implementadas metodologias que permitam que os estudantes construam o seu próprio conhecimento autonomamente (Greca & Moreira, 2000). Contudo, esta construção depende dos conhecimentos prévios dos estudantes, ou seja, dos seus modelos mentais – representações desenvolvidas pelos sujeitos para responderem a desafios do quotidiano, embora possam ser cientificamente inconsistentes (Johnson-Laird, 1983; 2001).

Neste sentido, a aprendizagem significativa pressupõe que ocorra a reestruturação dos modelos mentais dos estudantes, para que estes se tornem consistentes com os modelos curriculares, que lhes são apresentados nas aulas de ciências. Se os estudantes forem capazes de analisar os modelos curriculares e compará-los com os seus modelos mentais, de forma a poderem modificá-los e enriquecê-los do ponto de vista científico, então considera-se que os estudantes desenvolveram uma aprendizagem significativa (Palmero, 2008).

Todas estas considerações são importantes a este nível, embora se deva refletir sobre a forma como, atualmente, é praticado o ensino das ciências. Nas palavras de Marco Moreira (2014):

As teorias e modelos científicos são ensinados como verdades, como “descobertas geniais”, como definitivos, acabados. Os professores de ciência normalmente aceitam que o aluno é um construtor de seu próprio conhecimento e procuram fazer a mediação necessária para a reconstrução interna de conhecimentos científicos externamente construídos. Mas não apresentam estes conhecimentos como construções científicas. Este é um grande problema de ensino de

ciências: ensina-se ciências sem uma concepção do que é ciência. Um paradoxo. Seguramente há tentativas de ensinar ciências desde uma perspectiva científica, mas na escola contemporânea ainda predomina fortemente o ensino da “resposta correta”, definitiva, o ensino para a testagem. (p. 2)

Refletindo sobre as principais preocupações do ensino atualmente, em particular o desenvolvimento de metodologias que facilitem o processo de aprendizagem dos estudantes (Greca & Moreira, 1997), importa destacar a importância da psicologia cognitiva, que tem dado grandes contributos para a compreensão do processo de aprendizagem.

Não há dúvidas quanto ao papel da psicologia cognitiva ao nível dos estudos relacionados com a educação (Greca & Moreira, 2000), nomeadamente em relação à forma como os sujeitos compreendem o mundo. Segundo Philip Johnson-Laird (1983), a percepção do mundo depende daquilo que nele existe e, daquilo que compõe a mente de cada um dos sujeitos, admitindo-se que esta tem a capacidade de processar informação e interpretar o mundo através da manipulação de símbolos (Palmero, 2008).

Ao contactar com o mundo real, os sujeitos desenvolvem modelos mentais que lhes permitem representar fenómenos físicos e, dar resposta a situações com que são confrontados no quotidiano, assumindo-se assim, que estes modelos mentais constituem o seu conhecimento prévio (Greca & Moreira, 2000).

Na escola, os estudantes são confrontados com modelos curriculares, que visam facilitar a aprendizagem dos modelos científicos (Palmero, 2008), através da reestruturação dos seus modelos mentais. Contudo, este processo nem sempre ocorre facilmente, porque muitas vezes os estudantes não têm a capacidade de identificar os modelos que lhes são apresentados como modelos curriculares, resultando na memorização de proposições soltas e, conseqüentemente não lhes atribuem significado.

É fundamental que os estudantes compreendam que as leis e as definições são representações proposicionais articuladas em modelos curriculares e, que para serem compreendidas necessitam da construção de modelos mentais (Palmero, 2008). Esta é a chave para a promoção da aprendizagem significativa, e o desenvolvimento da literacia científica.

Atualmente, urge que os professores tomem consciência desta necessidade para que possam desenvolver metodologias e estratégias que permitam a reestruturação dos modelos mentais dos estudantes. Contudo, a implementação destas metodologias pode ser difícil, porque as percepções dos professores relativamente aos modelos científicos podem ser demasiado complexas (Oh & Oh, 2011), os estudantes podem não estar familiarizados com elas e, os modelos podem não ser diretamente observáveis e por isso entrarem em conflito com os seus modelos mentais (Clement, 2000).

Para promover a reestruturação dos modelos mentais dos estudantes defende-se, neste estudo, a utilização da modelação (Model-Based Learning), uma metodologia de ensino que, recorrendo a modelos, procura representar modelos físicos e o seu contributo no ensino das ciências (Gobert *et al.*, 2011; Harrison & Treagust, 2000). Dada a ambiguidade terminológica patente na literatura optámos, neste trabalho, por usar o termo modelação para nos referirmos à utilização de modelos como metodologia de ensino. Por outras palavras, assumimos que sempre que se pretender referir o recurso ao Model-Based Learning, a sua exploração assentou em atividades de modelação.

A construção de modelos tem como objetivo recriar fenómenos naturais (Louca *et al.*, 2011), para auxiliar o desenvolvimento do conhecimento científico dos estudantes e, a sua literacia científica (Gobert & Buckley, 2000).

Esta metodologia adquire especial importância no contexto das ciências da terra, pois possibilita não só a construção do conhecimento e promoção da literacia científica dos estudantes, mas também, quando bem implementada, permite *aprender ciência*, *aprender sobre ciência* e, *aprender como fazer ciência* (Justi & Gilbert, 2002a; Justi & Gilbert, 2002b; Van Driel & Verloop, 2002).

Além disso, a investigação desenvolvida nesta área depende fortemente deles (modelos) em diversos aspetos (Oh & Oh, 2011). Segundo Vasconcelos e Gomes (2014):

Ao contrário das outras ciências, os objetos de estudo da geologia são sistemas bastante complexos que funcionam numa larga escala temporal com características muito particulares. Assim, confrontados com as dificuldades de trabalhar o passado geológico, quer devido a problemas de escala temporal e espacial, quer devido à singularidade e à complexidade de processos geológicos, os cientistas procuram outro tipo de explicações. (p. 8)

Neste contexto se justifica o recurso a modelos, que representam analogias que permitem explicar e extrapolar os fenómenos geológicos, tendo por base o princípio do uniformitarismo. No entanto, deve ressaltar-se que o recurso a modelos pode gerar confusões e dilemas, uma vez que muitas similaridades podem ser mal interpretadas e gerarem falácias (Vasconcelos & Gomes, 2014).

Estes pressupostos podem também ser transpostos para a realidade do ensino das ciências nas escolas e outros estabelecimentos de ensino, onde é igualmente fundamental a construção de modelos cientificamente consistentes, simples, objetivos e que não confundam os estudantes.

Centrando-nos no universo deste estudo, os modelos desenvolvidos representam fenómenos relacionados com a temática “efeito dos sismos em solos e edifícios”, por se tratar de um tema frequentemente referido no currículo de Ciências Naturais (3.º ciclo), Biologia e Geologia (Ensino Secundário – especificamente no currículo de Geologia) e, nos programas de algumas unidades curriculares de várias universidades portuguesas.

Trata-se, portanto, de um assunto com que os estudantes estão familiarizados, porque além de ser lecionado nas escolas e nas instituições do ensino superior, é também vulgarmente abordado pela comunicação social dado os frequentes episódios sísmicos verificados no território português, e no mundo. Contudo, apesar da atualidade do tema sabe-se que existem estudantes que possuem modelos mentais cientificamente inconsistentes e, além disso, ao nível das escolas e universidades, geralmente, não são desenvolvidas nem aplicadas metodologias que impliquem a manipulação de modelos na leção deste tema.

Os três tipos de modelos desenvolvidos neste trabalho (modelo computacional, modelo físico e modelo misto) foram aplicados a estudantes que se encontravam a frequentar a unidade curricular de Riscos Geológicos na FCUP, por se tratar de um grupo de estudantes disponíveis no momento da aplicação do programa de intervenção (PI) desenvolvido (amostra de conveniência), tendo sido garantido o anonimato e a confidencialidade dos dados.

O principal objetivo deste estudo foi, não só, averiguar se a utilização de diferentes tipos de modelos na leção do “efeito dos sismos em solos e edifícios” influencia a aprendizagem dos estudantes do ensino superior, mas também, investigar qual o modelo mais adequado na reestruturação dos modelos mentais destes estudantes e consequentemente, na promoção da sua aprendizagem significativa e da literacia científica.

1.2.

Problema e objetivos da investigação

Recorrendo aos modelos como recursos heurísticos e à modelação como uma possível metodologia para a reestruturação de modelos mentais congruentes com os modelos curriculares lecionados, é necessário refletir sobre o fenómeno que se quer apresentar, mas também sobre os materiais usados e o seu comportamento, nomeadamente estabelecendo comparações com a realidade.

Pelo exposto, neste estudo pretende-se dar resposta à seguinte questão problema:

A utilização de modelos (modelo computacional, modelo físico e modelo misto), na avaliação do “efeito dos sismos em solos e edifícios”, interfere na aprendizagem significativa de estudantes do ensino superior?

Como objetivo último deste estudo, pretendíamos contribuir para a melhoria do ensino e da aprendizagem das ciências, ao nível do ensino superior, especificamente, em temas de geociências. Para dar resposta a este problema foram definidos vários objetivos específicos cuja consecução se obteve em diferentes fases da investigação desenvolvida. Seguidamente estão enumerados esses objetivos específicos que frequentemente coincidiram com as etapas da investigação.

i) Averiguar a utilização de modelos no ensino da temática “efeito dos sismos em solos e edifícios” em unidades curriculares de Riscos Naturais (ou designação similar) no ensino superior português, através da análise dos programas de unidades curriculares em diferentes universidades portuguesas.

ii) Diagnosticar os modelos mentais dos estudantes (n=20) a frequentar a unidade curricular de Riscos Geológicos na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP) na temática supracitada, garantindo-se o anonimato e confidencialidade dos dados relativos à identificação dos indivíduos que constituem a amostra, durante todo o desenvolvimento do estudo.

iii) Aferir a potencialidade de diferentes tipos de modelos (modelo computacional, modelo físico e modelo misto) na aprendizagem significativa de estudantes do ensino superior, usando para o efeito uma temática de Riscos Naturais por ser de nossa conveniência. Para a concretização deste último objetivo foi necessário desenvolver e aplicar um programa de intervenção (PI) durante três semanas (três aulas, num total de doze horas). Salienta-se que apesar de no plano de estudos do ano 2014/2015 as aulas fossem referidas como teóricas e práticas, no contexto da nossa intervenção, foram sempre lecionadas como teórico-práticas. O PI integrou a aplicação de cada um dos três modelos em cada semana (duas aulas, num total de quatro horas), para a leção do tema “efeito dos sismos em solos e edifícios” aos estudantes de licenciatura que frequentaram a unidade curricular de Riscos Geológicos no ano letivo 2014/2015.

Além do PI, e também com o intuito da concretização dos objetivos propostos, foi necessário desenvolver e validar um conjunto de instrumentos de recolha de dados, posteriormente analisados e interpretados à luz de um conjunto de técnicas diversificadas de análise de dados, apoiada na triangulação metodológica.

Relativamente aos instrumentos de recolha de dados, foram desenvolvidos instrumentos para recolha de dados de natureza quantitativa e, instrumentos para recolha de dados de natureza qualitativa. No primeiro caso foram produzidos um pré e pós-teste (apêndice 3), e uma *Escala de Avaliação de Modelos de Sismologia* – SMES (apêndice 4).

Quanto aos instrumentos de cariz qualitativo, foi produzido um questionário relativo às visões dos estudantes sobre *Modelos e Modelação em Ciência* – MMS (apêndice 5), e realizadas entrevistas semiestruturadas, que tiveram por base dois guiões (apêndices 6 e 7) adaptados aos dois grupos de estudantes entrevistados.

No que respeita às técnicas de análise de dados, do ponto de vista quantitativo foi aplicada uma estatística descritiva, com base no programa estatístico SPSS, para algumas abordagens e descrições iniciais dos resultados. Em associação a esta estatística foram também realizados testes não paramétricos, nomeadamente o Teste de Wilcoxon, para determinação de correlações mais profundas entre os dados e, para análise do seu grau de significância.

A análise dos dados qualitativos centrou-se essencialmente na análise de conteúdo, usando para o efeito o software NVivo.

1.3.

Organização da tese

O presente trabalho reflete a investigação desenvolvida durante quatro anos, no âmbito da tese de doutoramento intitulada “Dos Modelos Mentais aos Modelos Curriculares através da Modelação: um estudo no Ensino Superior na temática dos Riscos Naturais”.

Conforme apresentado, na tentativa de dar resposta ao problema de investigação enunciado, foram definidos vários objetivos específicos para a investigação levada a cabo. O trabalho desenvolvido durante os quatro anos da investigação resultou em várias publicações que descrevem todas as etapas, métodos e instrumentos realizados, bem como o enquadramento teórico de toda a investigação, análise e discussão de resultados.

O trabalho que aqui se apresenta não obedece a uma estrutura organizacional tradicional, uma vez que a sua base é constituída por um conjunto de trabalhos científicos que foram sendo desenvolvidos à medida que a investigação foi decorrendo. Desta forma, a exploração dos diferentes conteúdos deste trabalho encontra-se repartida pelas várias publicações, distribuídas por capítulos que, em certos momentos poderão divergir ligeiramente da estrutura tradicional de um trabalho deste tipo, ou seja: introdução, estado da arte, metodologia, análise e discussão dos resultados e conclusão. Por isso, torna-se necessário apresentar e descrever a estrutura e organização definidas para este documento, por forma a orientar a sua leitura e análise por outros leitores.

Este trabalho possui 8 capítulos, numerados de 1 a 8, relacionados com as etapas mais importantes no desenvolvimento da investigação. Cada um desses capítulos é constituído por subcapítulos que correspondem às diversas publicações que, no seu conjunto, permitem ter uma visão holística e aprofundada do trabalho desenvolvido, e dos resultados e conclusões obtidas.

Comparativamente com a estrutura clássica de trabalhos de cariz científico, considera-se que as principais etapas deste estudo podem ser equiparadas às fases principais de qualquer investigação (já enunciadas): introdução, estado da arte,

metodologia, análise e discussão de resultados e conclusões. No entanto, na tentativa de tornar essa correlação mais evidente e objetiva, na tabela 1.1. estão listadas as etapas de investigação e a sua correspondência com os capítulos que constituem a estrutura deste estudo.

Tabela 1.1. Distribuição dos capítulos do trabalho pelas partes principais da investigação.

	Capítulos	Título
Introdução	1	Introdução geral
Estado da arte	2	Modelos mentais, modelos curriculares e modelação
	3	História da sismologia: estudo dos sismos, sismógrafos e mesas sísmicas
	4	Recurso à modelação no Ensino Superior português
Metodologia	5	Validação de instrumentos de recolha de dados
	6	Desenvolvimento e aplicação do Programa de Intervenção
Análise e discussão dos resultados	7	Análise e discussão dos resultados
Conclusões	8	Considerações finais

Tendo em conta esta organização, torna-se também importante esclarecer como estão ordenados os conteúdos contemplados em cada um dos capítulos desta tese. Assim, de seguida, são apresentados, embora de forma sintetizada, todos os temas abordados e discutidos em cada um dos oito capítulos que constituem este trabalho.

O **capítulo 1**, onde se integra esta secção sobre a organização da tese, constitui a **introdução geral** do trabalho, e tem como principal objetivo enquadrar os leitores no universo da investigação, procurando esclarecer a necessidade do desenvolvimento de um estudo na área da Educação em Ciências, mais propriamente no Ensino das Ciências.

Além disso, neste capítulo são ainda apresentados o problema de investigação e os respetivos objetivos definidos, com vista a dar resposta ao problema enunciado.

Finalmente é também apresentada a listagem de publicações que constituem este trabalho, organizadas de acordo com a sua natureza (artigos científicos ou publicações em congressos – proceedings).

O **capítulo 2 – Modelos mentais, modelos curriculares e modelação** tem como principal objetivo apresentar alguns dos mais importantes conceitos deste trabalho, nomeadamente a distinção entre modelo mental, modelo curricular, modelo científico e modelos para o ensino. Uma vez que todo o trabalho desenvolvido tem por base o ensino baseado em modelos (modelação), são também enunciados os seus pressupostos e justificada a sua utilização no domínio da investigação que foi levada a cabo.

Ainda do ponto de vista teórico, alguns dos pressupostos deste estudo são baseados na psicologia cognitiva, nomeadamente na Teoria dos Modelos Mentais, da autoria de Philip Johnson-Laird. Esta teoria permite compreender, esclarecer e relacionar a importância dos modelos mentais com a promoção da aprendizagem significativa dos alunos, e por isso, serviu de suporte teórico para a investigação desenvolvida.

No entanto, deve ressaltar-se que, dada a modalidade em que esta tese foi desenvolvida, o conteúdo deste capítulo não deve ser analisado de forma independente, principalmente porque todo o enquadramento teórico do trabalho está distribuído pelas várias publicações, e por isso, irá sendo explorado com mais pormenor, dependendo do trabalho em que se insere. Desta forma, no final deste trabalho terão sido apresentados e explorados os seguintes conteúdos:

- Noção e distinção entre modelo mental, modelo curricular, modelo científico e modelos para o ensino;
- Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird;
- Modelos curriculares sobre o efeito dos sismos em solos e edifícios;
- Pressupostos e características da modelação, e a sua importância no ensino das Ciências, mais propriamente as Geociências;
- Categorização de modelos para o ensino: modelos computacionais, modelos físicos e modelos mistos;
- Utilização dos modelos como ferramenta para a divulgação e disseminação das Ciências;
- Comunicação da Ciência vs. Divulgação da Ciência, e o papel dos professores.

O **capítulo 3 – História da sismologia: estudo dos sismos, sismógrafos e mesas sísmicas**, apresenta dois estudos relacionados com a História da Ciência, aplicados no âmbito dos Riscos Naturais, mais propriamente, na temática explorada neste trabalho – a sismologia.

O objetivo destes trabalhos consiste em perceber e conhecer um pouco melhor a história da evolução da sismologia, bem como os principais instrumentos usados – os sismógrafos. Tendo em conta a importância destes instrumentos na deteção e registo sísmico, e por ter sido contemplado neste estudo como uma das componentes de um dos modelos aplicados – modelo misto –, justifica-se assim um estudo aprofundado da sua história.

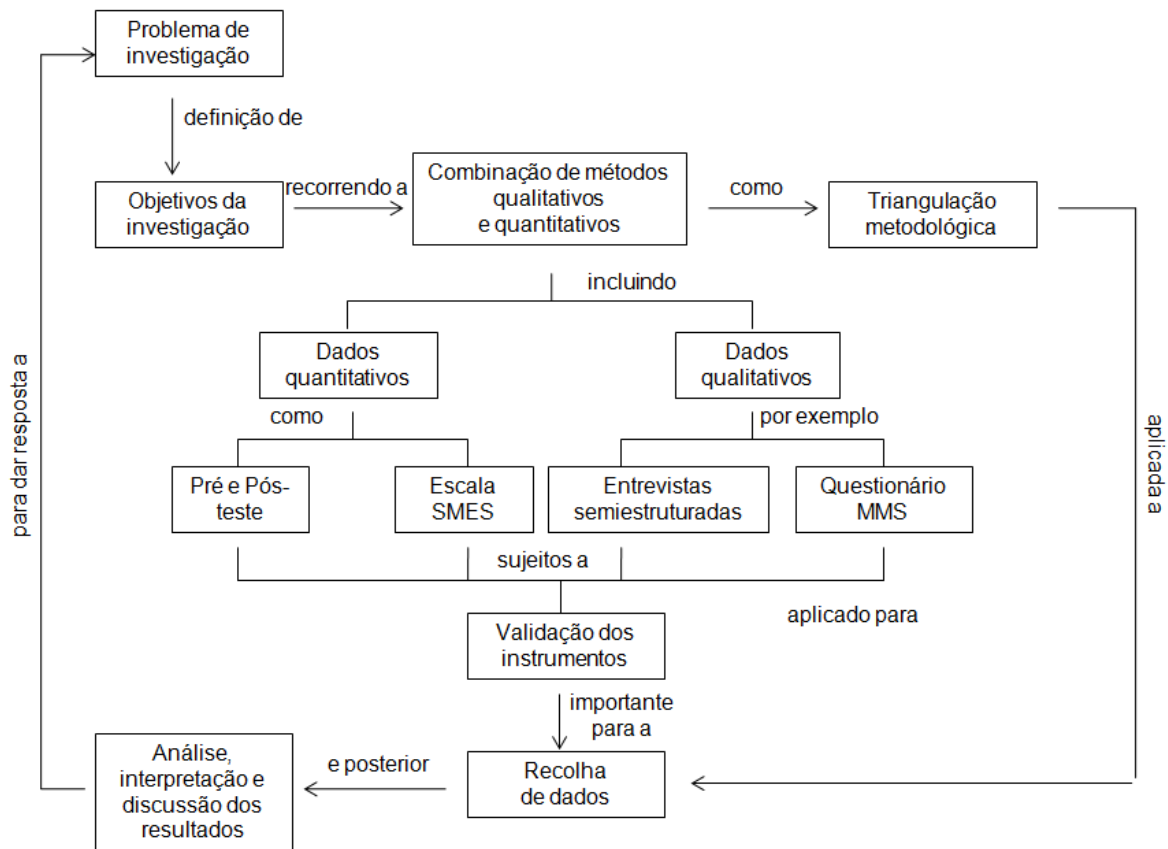
A análise do que é lecionado no 3.º ciclo do ensino básico sobre este tema teve como objetivo último fazer o levantamento dos conteúdos de história da sismologia abordados antes do ingresso dos estudantes no ensino superior, por forma a auxiliar a preparação das aulas do PI onde este tema foi explorado.

No **capítulo 4 – Recurso à modelação no Ensino Superior português**, é exposto um estudo para o levantamento de informação relativa à utilização de modelos no ensino superior português, nomeadamente na lecionação de temáticas de Riscos Naturais. Este levantamento foi levado a cabo no início da investigação, com o propósito de perceber qual a realidade das instituições de ensino superior público português, relativamente à aplicação da modelação. Só depois da realização deste estudo inicial, e após a análise e interpretação dos seus resultados, foi possível avaliar a pertinência do estudo e quais os impactes que poderia ter na nossa amostra e, no ensino das ciências.

O **capítulo 5 – Validação de instrumentos de recolha de dados**, apresenta um conjunto de trabalhos onde são descritos os métodos usados na validação dos instrumentos de recolha de dados aplicados no estudo, nomeadamente o pré e pós-teste, a escala SMES e o questionário MMS. Lembra-se que, dada a natureza do estudo recorreu-se à triangulação metodológica como metodologia para a recolha e análise dos dados. Como o próprio nome indica, esta metodologia pressupõe a utilização simultânea de métodos quantitativos e qualitativos, e por isso, todos os instrumentos de recolha de dados desenvolvidos têm como objetivo a recolha de dados quantitativos e qualitativos.

A figura 1.1. apresenta um esquema organizacional onde é representada a estrutura metodológica da investigação desenvolvida. Na figura é possível verificar a relação entre o problema de investigação e a metodologia usada, indicando os instrumentos de recolha de dados e a sua aplicação no decorrer da investigação. É também evidenciada a recolha de dados, que ocorreu imediatamente a seguir à aplicação do programa de intervenção.

Figura 1.1. Esquema organizador representativo da estrutura metodológica da investigação.



O capítulo 6 – Desenvolvimento e aplicação do Programa de Intervenção descreve em pormenor toda a intervenção junto dos estudantes da amostra deste estudo, e que incluiu a lecionação de conceitos relacionados com o “efeito dos sismos em solos e edifícios”, através da manipulação e exploração de modelos. No âmbito do programa de intervenção foram construídos, ou adaptados, diferentes tipos de modelos – modelo computacional, modelo físico e modelo misto – que, posteriormente foram aplicados e manipulados em três aulas, cada uma com a duração de 4 horas, da unidade curricular de Riscos Geológicos, no ano letivo 2014/2015. A aplicação dos modelos, de acordo com a modelação, incluiu também o desenvolvimento de documentos de exploração para auxiliar os estudantes durante as aulas do programa de intervenção. Estes documentos são também apresentados neste capítulo, sendo mencionado o contexto e o propósito da sua aplicação.

No **capítulo 7 – Análise e discussão dos resultados** são apresentados, analisados e discutidos todos os resultados obtidos através da recolha de dados levada a cabo pelos diferentes instrumentos desenvolvidos para o efeito.

Através dos dados recolhidos e analisados foi possível: i) averiguar a evolução dos modelos mentais dos estudantes relativamente ao efeito dos sismos em solos e edifícios; ii) analisar e listar as potencialidades e limitações dos diferentes tipos de modelos aplicados; iii) e avaliar a importância dos modelos e da modelação no ensino das Ciências.

Finalmente, no **capítulo 8 – Considerações finais**, são apresentadas as conclusões gerais deste estudo, tendo em conta os objetivos definidos de acordo com o problema de investigação enunciado. No final, é dada resposta ao problema de investigação, tendo o cuidado de corroborar todos os resultados com outros estudos do mesmo âmbito.

Ainda neste capítulo, são também enunciadas algumas limitações do estudo, bem como as suas principais implicações no ensino das ciências, incluindo algumas recomendações para futuras investigações.

Na parte final deste capítulo introdutório, no subcapítulo 1.4., é apresentada a listagem de todas as publicações realizadas no domínio desta investigação.

Ressalva-se a necessidade da análise conjunta de todas as publicações, uma vez não haver uma sequência temporal na sua organização, mas sim uma organização lógica. Desta forma, todo o conteúdo teórico encontra-se distribuído por todas as publicações, bem como alguns resultados secundários, que permitiram validar pressupostos e avançar para fases posteriores da investigação, como é o caso da análise dos modelos mentais dos estudantes do ensino superior relativamente ao efeito dos sismos em solos e edifícios.

1.4.

Listagem de publicações

1.4.1. Artigos em revistas internacionais indexadas

Moutinho, S., Moura, R. & Vasconcelos C. (2016). Mental Models about Seismic effects: Students' profile based comparative analysis. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14 (3), pp. 391-415. doi: 10.1007/s10763-014-9572-7. (ISI IF = 1,104/SCOPUS SJR=0,851_Q1)

(Capítulo 5, pp. 113-137)

Moutinho, S., Moura, R. & Vasconcelos, C. (2014). Modelação em Geociências nos Dias Abertos às Escolas. *Comunicações Geológicas*, 101, Especial III, pp. 1325-1328. ISSN: 0873-948X. (SCOPUS SJR=0, 207_Q3)

(Capítulo 5, pp. 157-166)

Moutinho, S. & Vasconcelos, C. (2017). Model-based learning applied to Natural Hazards. *Journal of Science Education*, 18 (2), 16 pages. (SCOPUS SJR=0,123_Q4)

(Capítulo 7, pp. 199-212)

Nota: A carta de aceitação deste trabalho está disponível no apêndice 9.

Moutinho, S., Moura, R. & Vasconcelos, C. (2017). Contributions of Model-Based Learning to the restructuring of graduation students' Mental Models on Natural Hazards. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13: 1-25.

ISSN (online): 1305-8223; (print): 1305-8215. (ISI IF=0.720_Q3/SCOPUS SJR=0,401_Q2)

(Capítulo 7, pp. 223-252)

Nota: A carta de aceitação deste trabalho está disponível no apêndice 9.

1.4.2. Artigo constituinte de um capítulo em livro de editora internacional

Moutinho, S., Moura, R. & Vasconcelos, C. (2016). Simulating an earthquake and its effects on soils and buildings: A practical activity to disseminate geosciences and its evaluation. In C. Vasconcelos, *Geoscience Education: Indoor and Outdoor* (pp. 43-55), Netherlands: Springer. doi: 10.1007/978-3-319-43319-6_3. ISBN: 978-3-319-43319-6 (ebook); ISBN: 978-3-319-43318-9 (hardcover).

(Capítulo 5, pp. 139-156)

1.4.3. Artigos em revistas com arbitragem científica

Moutinho, S., Moura, R. & Vasconcelos, C. (2016). O recurso à Modelação no Ensino Superior: O caso dos Riscos Naturais. *Terrae Didactica*, 12 (2), pp. 118-125.

ISSN: 1679-2300. (JCR/QUALIS_B2)

(Capítulo 4, pp. 93-109)

Moutinho, S., Moura, R. & Vasconcelos, C. (2014). O efeito dos sismos em solos e edifícios: Aplicação de um Programa de Intervenção dirigido a estudantes de Licenciatura recorrendo à Modelação. *Revista Montagem: Centro Universitário Moura Lacerda*, (16), pp. 117-131. ISSN: 0104-4826.

(Capítulo 6, pp. 169-195)

1.4.4. Publicações apresentadas em congressos internacionais (Proceedings)

Moutinho, S., Torres, J., Almeida, A. & Vasconcelos, C. (2013). Portuguese teachers' views about geoscience models. *IX Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias*. Enseñanza de las Ciencias, Numero especial. pp. 2430-2435, Girona, Spain. ISSN: 0212-4521. (Proceeding ISI)

(Capítulo 2, pp. 23-32)

Moutinho, S., Moura, R. & Vasconcelos, C. (2014). Students' Mental Models about the effects of earthquakes on soils and buildings. *14th GeoConference on Ecology, Economics, Education and Legislation Conference proceeding SGEM 2014*, pp. 687-692, Albena, Bulgaria. **ISBN:** 978-619-7105-19-3. (Proceeding ISI)

(Capítulo 2, pp. 33-41)

Moutinho, S., Moura, R. & Vasconcelos, C. (in press, 2017). Mental Models about Natural Hazards: a study with graduation students. *17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017* (7 pages), Albena, Bulgaria. (Proceeding ISI)

(Capítulo 7, pp. 213-222)

Nota: A data de publicação do livro de trabalhos do congresso em que este trabalho estará inserido está prevista para julho de 2017. O e-mail da organização do SGEM, com as informações sobre a publicação deste trabalho está disponível no apêndice 9.

1.4.5. Trabalhos apresentados em encontros nacionais

Moutinho, S. & Vasconcelos, C. (2014). História da Ciência nos Manuais Escolares: os Sismógrafos e o Desenvolvimento da Sismologia. *História da Ciência para o Ensino. 2º Colóquio* (pp.136-157), Coimbra: Universidade de Coimbra. **ISBN:** 978-989-704-206-5.

(Capítulo 3, pp. 45-77)

Moutinho, S., Faria, J. & Vasconcelos, C. (2015). John Milne, the man who mapped the shaking earth: Vida e obra de um dos pioneiros da sismologia. *1º Encontro de História da Ciência no Ensino* (pp. 50-60), Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. **ISBN:** 978-989-704-206-5.

(Capítulo 3, pp. 79-90)

1.5.

Referências bibliográficas

- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp.1041–1053.
- Gobert, J. D. & Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 891-894.
- Gobert, J. D., O'Dwyer, L., Horwitz, P., Buckley, B. C., Levy, S. T. & Wilensky, U. (2011). Examining the Relationship Between Students' Understanding of the Nature of Models and Conceptual Learning in Biology, Physics, and Chemistry. *International Journal of Science Education*, 33(5), pp. 653-684.
- Greca, I. M. & Moreira, M. A. (1997). The kinds of mental representations – models, propositions and images – used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, 19(6), pp. 711-724.
- Greca, I. M. & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and Modeling. *International Journal of Science Education*, 22(1), pp. 1-11.
- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 1011-1026.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models. Towards a Cognitive Science of Language, Inference and Consciousness*. Cambridge: Harvard University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (2001). Mental models and deduction. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 5(10), pp. 434-442.
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2002a). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modelers. *International Journal of Science Education*, 24(4), pp. 369-387.
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2002b). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(12), pp. 1273-1292.

- Louca L. T., Zacharia, Z. C. & Constantinou, C. P. (2011). In Quest of Productive Modeling-Based Learning Discourse in Elementary School Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(8), pp. 919-951.
- Moreira, M. A. (2014). Modelos científicos, modelos mentais, modelagem computacional e modelagem matemática: aspectos epistemológicos e implicações para o ensino. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência & Tecnologia*, 7(2), 20 pp.
- Oh P. S. & Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), pp. 1109–1130.
- Palmero, M. L. R, (2008). La Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird. In Palmero, M. L. R. *et al.* (Orgs.) *La Teoría del Aprendizaje Significativo en la perspectiva de la Psicología Cognitiva*. Barcelona: Editorial Octaedro.
- Van Driel, J. H. & Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. *International Journal of Science Education*, 24(12), pp. 1255-1272.
- Vasconcelos, C. & Gomes, C. (2014). A modelação na aula de geologia. In C. Vasconcelos, M. A. Ribeiro & D. Flores, *GEOlogos Curso FOCO – Geologia e Sustentabilidade* (pp. 7-14), 11, Porto: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

2.

MODELOS MENTAIS, MODELOS CURRICULARES E MODELAÇÃO

2.1.

Portuguese teachers' views about geosciences models

Sara Moutinho, Joana Torres, António Almeida & Clara Vasconcelos

IX Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias.
Enseñanza de las Ciencias, Numero especial. pp. 2430-2435, Girona, Spain.

2.1.1. Abstract

Geoscience teachers use models to help students to learn phenomenon, because they simplify the explanation of abstract scientific theories. For that reason, modelling is an important tool to be used in geosciences classrooms to help students to understand theories. However, resorting to that strategy implies that teachers recognize its importance and are prepared to guide students in their learning processes through modelling. In the present research we analyse the views of Portuguese science teachers about geosciences models covered by Portuguese science curriculum. Data analysis led us to the conclusion that the majority of teachers have solid scientific knowledge regarding the geosciences models. It's crucial that teachers understand scientific models, so they can present them clearly to students, through a model-based approach.

Keywords

Models, teachers' views, geoscience, modelling.

2.1.2. Objectives

Being the research question “What are the views of Portuguese teachers about geoscience models?” the aim of this study was to analyse Portuguese science teachers views regarding some models referred in science curriculum. To pursue that aim more specific objectives were elaborated, such as: to validate and to apply a survey about geological models to Portuguese science teachers; to analyse data gathered with the survey questionnaire; and to do the interpretation of the data collected based upon some scientific literature.

2.1.3. Framework

The relationship between theories and models arose in the 1960s as a relevant issue in the context of philosophy of science. Several authors dedicated their work to establish the relationships between scientific theories and models. By definition, a model is an interpretative description of a phenomenon, object or process, which facilitates perceptual and intellectual access to that phenomenon (Franco, 1999). However, it is not a description in the trivial sense of a mere phenomenological explanation to a phenomenon. This description is an interpretation that goes beyond the minimum acceptable knowledge (Bailer-Jones, 2003).

Thomas Kuhn (1970) considers that models are a component of paradigms that are already established. In the educational context, students have to learn scientific paradigms meaningfully, involving the development of meaning-systems (Franco, 1999). However, for science students, models are not established but, as an important feature of the educational process, they have to be built.

Other authors, like Nancy Nersessian (1992), admit that models are important as a starting point of theories development, they are essential during the construction of a theory, but then must be reconstructed when they turn incompatible with the terms of the new theory that they helped to develop. As Kuhn defends, the emergence of a new paradigm includes, therefore, the construction of a new model (Franco, 1999). Theories are about abstract objects and not empirical objects. Models, by their very constitution,

are applied to concrete empirical phenomena, whereas theories are not. They can be moulded and adjusted to the address and concrete empirically observed situation. Consequently, a model never is so general like a theory. For many reasons, it is difficult to be so specific to march quite specific empirical situations well (Bailer-Jones, 2003).

In the practice of science education, very often scientific laws are presented without the associated models which provide meaning for them. The biggest concern is to make sense and to practice scientific paradigms, a task which involves model building (Franco, 1999). At school, geoscience teachers use models to help to explain phenomena and, sometimes, students make their own models to display their understanding. Each one constructs his personal mental model for a theory with all knowledge that was developed in the learning process. Thus scientific models are an important way to explain an abstract scientific theory. However, in some schools, scientific models are regarding as concrete replicas of the real target and some students have misconceptions of scientific models that are basically consistent with a naïve realist epistemology (Treagust *et al.*, 2010).

Nowadays it is advocated an active and constructive process of learning. In a constructive process, scientific models are very valuable because they are used to explain an abstract and non-observable science concept. Many often, scientific models are used superficially, making it difficult to understand. In a constructive process it is also assumed that students have their own personal view of scientific models, but these understanding may not always be scientifically correct and may lead to alternative conceptions (Treagust *et al.*, 2010).

The solution for this problem is modelling, an important tool in the construction of geological knowledge, because it promotes the understanding of natural processes' dynamics and their variables (Bolacha *et al.*, 2011).

According to Gilbert (2004), analogue modelling is a simplified version of scientific models. When teachers use modelling to introduce an episode of geology history, it should be clearly presented, because it can play an important role in teaching the evolution of geological thinking, as well as to teach actual scientific concepts (Bolacha *et al.*, 2006).

Dynamics modelling represents phenomena in which one or more elements of a system change over time. If students develop the ability to produce, test and evaluate the models as well as their dynamics, they can improve the interest and have a deeper understanding about the real changes that occurred in the course of Earth's history (Deus *et al.*, 2011). But this might require some degree of abstraction, especially if the studied phenomenon establishes an intricate net of relations with other natural

phenomena (Bolacha *et al.*, 2011). Bolacha *et al.* (2006), referring to the work of Dagher (1998), defends that, nowadays learning is an individual process to knowledge construction, and geoscience teachers consider analogue modelling as an important tool to restructure the knowledge assimilation process. Modelling geological phenomena can reduce millions of years to some hours or minutes and should require, if possible, the use of materials with a behaviour similar to natural materials (Bolacha *et al.*, 2009; Deus *et al.*, 2011).

However, analogue models may generate misconceptions if students don't make the transference to the targeted scientific phenomena (Deus *et al.*, 2011). To avoid this, the analogue models should be accompanied by other materials, as photos or other models, to ensure the proper relationship between the model and the phenomenon characteristics that is being simulated (Bolacha *et al.*, 2009).

2.1.4. Methodology

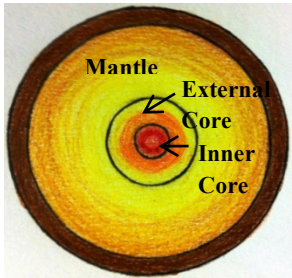
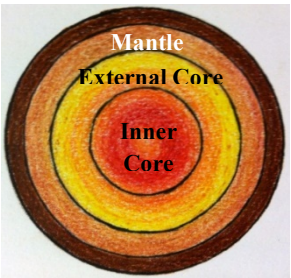
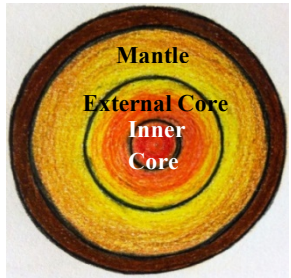
According to research aim, a survey study was developed and data were collected from a questionnaire about geosciences models. The questionnaire was applied to teachers from different schools and from diverse Portugal regions (Aveiro, Porto, Viseu, Braga, Lisboa, Bragança). Questionnaires could be fulfilled on paper or in digital form.

The questionnaire had four closed questions, each one about a different geoscience model, such as, the internal structure of the Earth, the solar system, the continental drift and plate tectonic theory, and the mountain chain formation. Before being applied, the questionnaire was validated by two experts in geoscience education. After collecting the questionnaires, teachers' answers were analysed using SPSS 20 version. The questionnaire was answered by a convenient sample of 129 Portuguese science teachers from middle and secondary schools. The majority of the sample were females (112 females, 15 males), and the mean age was 43,3 years old (ranging from 23 to 63). The teachers had different qualifications like, BSc (n=78); MSc (n=38); PhD (n=1); BSc plus other specialization (n=10) and, MSc plus other specialization (n=2).

2.1.5. Results

After collecting the questionnaires, introducing the data in appropriate statistic software and considering the objectives of the study, the following results were obtained.

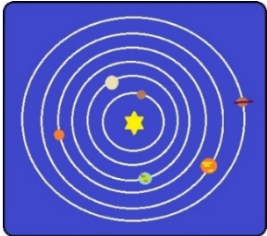
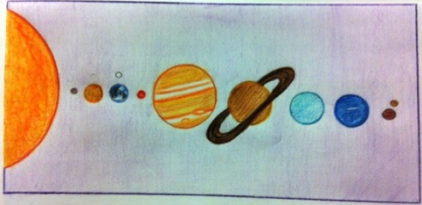
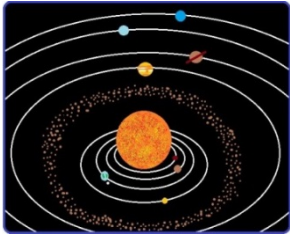
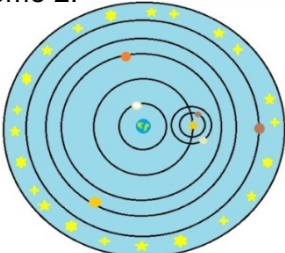
Table 2.1. Rate of teachers' responses about model of internal structure of Earth.

Question 1 Considering the images, what is the scheme that represents the model of the internal structure of Earth?			Answers (%)	
 <p>Scheme 1.</p>	 <p>Scheme 2.</p>	 <p>Scheme 3.</p>	a	8,5
			b	2,3
			c	63,6
			d	14,0
			e	4,7
			na	4,7
a. Scheme 1.	c. Scheme 3.	e. I don't know.	nc	2,3
b. Scheme 2.	d. No one is correct.			

na – no answer; nc – not considered (two options selected).

The answer to question 1 (table 2.1.) showed that the majority of teachers (c=63,6%) recognized the correct model of the internal structure of the Earth. However, some teachers considered that all schemes were incorrect (d=14,0%). The answers make us believe that science teachers are generally familiarized with the accepted model of the internal structure of Earth, probably because this is a subject frequently discussed in school since classes.


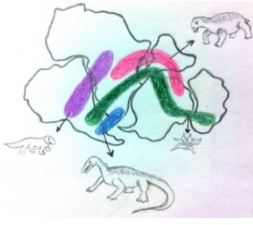

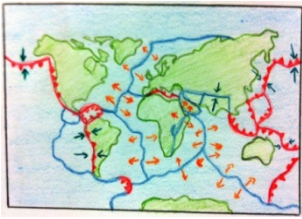

Table 2.2. Rate of teachers' answers regarding solar system model.

Question 2 Sort the schemes to obtain the historical sequence of different models of the solar system.		Answers (%)	
 <p>Scheme 1.</p>  <p>Scheme 2.</p>  <p>Scheme 3.</p>  <p>Scheme 4.</p> <p>a. 1 – 2 – 3 – 4. c. 1 – 4 – 2 – 3. b. 4 – 1 – 3 – 2. d. 4 – 1 – 2 – 3. e. I don't know.</p>	a	0	
	b	20,9	
	c	4,7	
	d	65,9	
	e	3,9	
	na	4,7	
	nc	0	

na – no answer; nc – not considered (two options selected).

According to the results to the question 2 (table 2.2.), 65,9% of the teachers knew the correct historical sequence of the solar system models (option d). In spite of that, many teachers still selected the wrong option (b = 20,9%).

Table 2.3. Teachers' answers about model of continental drift and tectonic plates.





Question 3. Look at the schemes and identify the arguments to the continental drift and the model of plate tectonic.		Answers (%)	
 <p>Scheme 1.</p>  <p>Scheme 2.</p>  <p>Scheme 3.</p>  <p>Scheme 4.</p>  <p>Scheme 5.</p>		a	81,4
		b	2,3
		c	0
		d	3,9
		e	7,0
a. The schemes 1 and 4 represent the arguments to the model of plate tectonic and, schemes 2, 3 and 5 are arguments to continental drift.		na	3,9
b. The schemes 1 and 4 represent the arguments to the continental drift and, schemes 2, 3 and 5 are arguments to model of plate tectonic.		nc	1, 6
c. All the schemes represent the arguments to the model of continental drift.			
d. All the schemes represent the arguments to the model of plate tectonic.			
e. I don't know.			

na – no answer; nc – not considered (two options selected)

On question 3 (table 2.3.), the results showed that the majority of teachers (a = 81,4%) identified correctly the arguments in favour of the continental drift and the arguments for the theory of plate tectonic. The fact that in Portuguese science curriculum this subject is taught through an historical-based perspective may help to understand this result.

Meanwhile, 7,0% of the teachers that didn't recognize the models choose the answer e) *I don't know*. This probably occurred because teachers may not have correctly related images with the arguments that each model represents.

Table 2.4. Teachers' answers frequencies regarding model of mountain chain formation.

Question 4. Identify the scheme that does not represent a model to the mountain chain formation.		Answers (%)	
 <p>Scheme 1.</p>  <p>Scheme 2.</p>  <p>Scheme 3.</p>  <p>Scheme 4.</p>	a. Scheme 1.	a	9,3
	b. Scheme 2.	b	64,3
	c. Scheme 3.	c	7,8
	d. Scheme 4.	d	8,5
	e. I don't know.	e	5,4
		na	4,7
		nc	0

na – no answer; nc – not considered (two options selected)

The results for the question 4 (table 2.4.) showed that 64,3% of the teachers thought that the scheme 2 didn't represent a model for the mountain formation. Moreover, 9,3% of teachers thought that the wrong scheme was the first one represented. In fact, both schemes (1 and 2) represented two different models for the mountain formation, both proposed in 19th century. Only 7,8% of the teachers selected the right option (c = scheme 3). Although this scheme represents the convection currents which are indeed an argument for the plate tectonic, they don't have a directly relation with mountain formation.

However, the fourth scheme showed two types of convergent boundaries (continental plate – continental plate and ocean plate – continental plate), which is the accepted model to explain the mountain formation. According to data, only 8,5% of teachers considered that was the wrong scheme.

2.1.6. Conclusions

With this research we have realized that Portuguese science teachers recognize the majority of geosciences models which they usually teach in school. It also showed that teachers have more difficulty in recognising models that are not covered in the science curriculum, probably because they don't teach them frequently.

In fact, a model-based approach is important in geoscience classrooms, but for its success it's necessary that teachers have knowledge regarding scientific models and modelling strategy. Without that knowledge they can't mediate a meaningful learning process. Portuguese geoscience teachers have demonstrated to have knowledge of the geological models which they are required to teach. This factor may contribute to the good performance of the teachers when promoting a successful cognitive development based in geoscience modelling.

2.1.7. References

- Bailer-Jones, D. M. (2003). When scientific models represent. *International Studies in the Philosophy of Science*. 17(1), pp. 59-74.
- Bolacha, E., Deus, H. M., Fonseca, P. E. (2009) Modelação análoga em Geologia, na sala de aula: Como se faz uma montanha. XXIX Curso de Actualização de Professores em Geociências. Lisboa: Escola Superior de Educação de Lisboa.
- Bolacha, E., Deus, H. M., Fonseca, P. E. (2011). The concept of analogue modelling in Geology: an approach to mountain building. *Proceedings of the 9th ESERA Conference*. France: University of Lyon.
- Bolacha, E., Moita de Deus, H. A., Caranova, R., Silva, S., Costa, A. M., Vicente, J., Fonseca, P.E. (2006). Modelação Analógica de Fenómenos Geológicos: Uma Experiência na Formação de Professores. *Geonovas*. 20, pp. 33 – 56.
- Dagher, Z. (1998). The case for analogies in teaching science for understanding. In J. Mintzes, J. Wandersee, J. Novak (Ed.), *Teaching science for understanding*, pp. 195-211. San Diego: Academic Press.

- Deus, H. M., Bolacha, E., Vasconcelos, C., Fonseca, P. E. (2011) Analogue modelling to understand geological phenomena. Proceedings of the GeoSciEd VI. Joahnnesburg: University of Witwatersrand.
- Franco, C. (1999). Scientists' and inventors' minds to some scientific and technological products: relationships between theories, models, mental models and conceptions. *International Journal of Science Education*, 21(3), pp. 277-291.
- Gilbert, J. (2004). Models and Modelling: Routes to More authentic Science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, pp. 115-130.
- Kuhn, T. (1970). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Nersessian, N. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In R. N. Giere (ed.). *Cognitive Models of Science*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science education*. 24(4), pp. 357-368.

2.2.

Students' Mental Models about the effect of Earthquakes on soils and buildings

Sara Moutinho, Rui Moura & Clara Vasconcelos

14th GeoConference on Ecology, Economics, Education and Legislation
Conference proceeding SGEM 2014, pp. 687-692, Albena, Bulgaria.

2.2.1. Abstract

Mental models are students' representations of the real world based on their knowledge and understanding. In a meaningful learning it is essential to analyse students' mental models and promote a reconstruction of scientific knowledge, by allowing them to become consistent with the scientific models. Having this in mind, we aimed to analyse undergraduate students' mental models concerning the seismic effects on soils and buildings, before they learn these contents at the university. To collect the data we applied a questionnaire with several items. The questionnaire was answered by a convenient sample of 31 freshmen from an undergraduate degree in Geology, in a northern Portuguese university. The results show that, in the majority of the items, students recognized the seismic effects on soils and buildings. However, some of their mental models were inconsistent with the scientific model, highlighting the importance of diagnosing students' mental models and their restructuring to promote a meaningful learning and scientific literacy.

Keywords

Mental models, meaningful learning, earthquakes, seismology.

2.2.2. Introduction

Although normally scientifically inconsistent, students construct mental models with all knowledge developed in the learning process [1] and in their everyday life. In science lessons, teachers present models to students (commonly named as curricular models), as learning instruments to facilitate the comprehension and learning of the scientific models [2], [3].

When students contact with curricular models (physical or digital) in science lessons they reconstruct their mental models, trying that they become more consistent [2] with the scientific ones. This restructuring process should occur naturally and spontaneously through methodologies that lead students to evaluate the importance of models and to relate them to their prior knowledge. Within that process students' conceptual structures may be altered by adding new information or replacing this information by other scientifically more consistent [4], [3]. This process helps the students to develop their scientific literacy.

In our study, mental models about a geological content were analysed. The geologic issue under consideration, seismology, is taught in Portuguese high school and in some Portuguese universities, mainly in undergraduate degree in Geology. Undergraduate students are generally familiarized with some aspects regarding this subject like, for example, the "seismic effects on soils and buildings", because they learn it in school. Moreover, this issue is currently explored in television due to seismic episodes recorded in Portugal and around the world.

However, sometimes students develop mental models that are not consistent with scientific knowledge because they memorize single propositions without relation with their mental models. Students became unable to restructure or to construct a scientifically congruent knowledge. These mental models can persist during students' academic formation.

In this way, it is important to understand students' mental models related to seismic effects on soils and buildings, in order to verify if students recognized what are these effects and their influence in soils and buildings that are constructed in a region. Having this in mind, the purpose of this study is to analyze the mental models of undergraduate students in Geology about the seismic effects on soils and buildings.

2.2.3. Theoretical Framework

It is known that meaningful learning assumes a central role in science education. Mental models are extremely important to develop the meaningful learning because they are representations of the external world which are developed by the human mind [2], [3]. They are important to understand the knowledge construction process.

According to Johnson-Lairds' Mental Models Theory, mental models are internal representations which help the comprehension of the phenomena, because they allow people to develop the ability to explain and predict phenomena [5], [6]. These representations are mental correlations of the reality which constitute working models, and they're constructed through propositions and images that can be related to the model [5], [7]. The students did not have the ability to apprehend the world directly, because the human mind processes the information and interprets the world through a system of symbols. The understanding of each individual has the world depends on what is in it, but also of all the experiences, knowledge and emotions that belong to the human mind [6]. As so, these models are personal and scientifically inconsistent, this is, they may not be sophisticated as the currently model accepted by scientists.

They are mental representations of reality correlations due to the human inability to perceive the world directly, providing mechanisms to assign meaning to the world we observe through our mind [7]. Moreover, they represent a simplified knowledge that sometimes is not recognized by scientific community. However mental models are extremely useful and functional for students, which used them to solve problem-situations, been considered their prior knowledge [4].

Johnson Lairds' Mental Models Theory tries to understand how the mind works and how it is built and developed human knowledge. Basically it tries to explain the higher processes of cognition, which include comprehension and inference from the analysis of the mental models that individuals develop [6].

Students construct their personal mental models during the learning process. According to Johnson-Laird [6] there are many models to represent one concept, so it is important to diagnose students' mental models and analyse them to understand their knowledge construction process. We should not be expecting that these models are accurate, complete, consistent with the scientific knowledge nor consistent among themselves. Actually, they become prevalent for students because they are functional, and help them in their learning process.

Teachers are very important in the students' learning process because they promote the restructure of students' mental models, turning them more scientifically consistent [1]. Thus, in science lessons, teachers present to students a particular kind of models, named curricular models, developed to facilitate the learning of physical models. Curricular models are also used to demonstrate how things work and to explain sophisticated knowledge, which are, many times, extremely complex and abstract [8], [9].

Nowadays it is advocated an active and constructive process of learning. In a constructive process, which must be promoted in the practice of science education, very often scientific laws are presented without the associated models which provide meaning for them. The biggest concern is to make sense and to practice scientific paradigms, a task which involves model building [1].

The use of models in science lessons is essential because they simplify natural phenomena and promote a deeper understanding of natural processes' dynamics and their variables [9], and they are used to explain an abstract and non-observable science concept. However, there are many factors that turn difficult their implementation in science lessons, such as: i) it may not be possible to directly observe the physical models that are intended to teach; ii) curricular models used by teachers may conflict with the students' mental models, making it difficult for conceptual change [1]; iii) scientific content used to describe the curricular models may enter in conflict with the vocabulary and concepts that students recognize through the use of natural language.

In conclusion, in science lessons must be developed and presented to students some methodologies that help them to evaluate and restructure their mental models. This process allow students' mental models to evolve and become consistent with the curricular models and therefore with scientific knowledge. Considering all this, it may be possible to promote a meaningful learning, which allows students to *learn science*, *learn about science* and *learn how to do science* [7], [10].

2.2.4. Methodology

The questionnaire had five items about the seismic effect on soils and buildings. It was adapted from a Two-Tier Diagnostic Test, elaborated by Monteiro and collaborators [11], to the Portuguese university students' population.

Each item of the questionnaire had two tiers. The first tier has a sentence relating the seismic effects on soils and buildings, and students should classify each one into *True*, *False* or *Don't know*. The second tier has four sentences which justify the previous answer and students had to choose one of them: a correct and scientifically consistent explanation, an incorrect justification which reflects a scientifically inconsistent mental model, an incorrect explanation that has no relation with the question and an open-ended option (option d – *other*). In this case, students can indicate their own explanation for the item. Students who select the option *don't know* on the first tier, didn't answered to the second tier. The items were formulated according the directives of the study of Treagust and collaborators [12].

The scientific content of the items was adapted from the works of Bell [13], Francek [14] and Moura and collaborators [15]. After its elaboration and before its implementation the questionnaire was validated by two experts in geoscience education. They assessed the comprehensibility, clarity, and accuracy of the questions of TTDT. The experts evaluated each question and indicated whether the questions were representative of corresponding questionnaires. They also analyzed if the questions were suitable or not, and when necessary they proposed additional questions. The revision of the questions was done based on the reviews.

The questionnaire was answered by a convenience sample of 31 geology undergraduate Portuguese university students, 11 females and 20 males. The mean age of the sample was 19.5 years old, ranging from 18 to 34 years old.

2.2.5. Results

After collecting the questionnaires, the data were statistical analysed with the 22 version of SPSS. The results are presented in table 2.5.

Table 2.5. Answers of the students in the questionnaire.

ITEM	1 st TIER		2 nd TIER	
	Answer	F	Answer	f
I	Right	15	Right	11
			Wrong	4
	Wrong	3	Right	1
			Wrong	3
	Don't Know	13	Don't Answer	
II	Right	14	Right	14
			Wrong	0
	Wrong	17	Right	5
			Wrong	12
	Don't Know	0	Don't Answer	
III	Right	18	Right	13
			Wrong	5
	Wrong	12	Right	0
			Wrong	12
	Don't Know	1	Don't Answer	
IV	Right	24	Right	20
			Wrong	4
	Wrong	6	Right	0
			Wrong	6
	Don't Know	1	Don't Answer	
V	Right	12	Right	11
			Wrong	1
	Wrong	4	Right	4
			Wrong	0
	Don't Know	15	Don't Answer	

The answers were only correct if students had selected the right answer in both first and second tiers of each item. Having this in mind, the results show that the majority of the students select the right answer in both first and second tiers of the item I (f= 11), II (f=14), III (f= 13) and IV (f=20).

These results demonstrate that students' mental models about the seismic amplification effect, the buildings' construction and its influence in seismic risk, and the soils properties and its response to the effects of the earthquakes are scientifically consistent.

However, in the item V (*seismic effect is very important on the evaluation of soil response to the effects of seismic waves*) the majority of the students didn't know the answer to the question (f= 15), showing that students have inconsistent mental models about the factors that influence the soils response to the effects of the earthquakes.

2.2.6. Conclusions

This study led us to conclude that students recognized the seismic effects on soils and buildings. However, some of their mental models were inconsistent with the scientific model, highlighting the importance of diagnosing students' mental models and promoting their reconstruction to develop a meaningful learning and scientific literacy. In a model-based methodology teachers should try to understand how students construct their own mental models and recognize the nature of these models. It is also important that teachers understand how models should be introduced in science laboratories activities and have the ability to develop models that can be fit into diverse classroom activities [10].

2.2.7. References

- [1] Moutinho, S., Torres, J., Almeida, A. & Vasconcelos, C. Portuguese teachers' views about geosciences models. In P. Membiela & M. Vidal (Eds.) Proceedings of the Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias. Girona, Spain, pp 2430-2435, 2013 in press.
- [2] Greca, I. M. & Moreira, M. A. Mental models, conceptual models, and Modeling. International Journal of Science Education, vol. 22/issue 1, pp 1-11, 2000.
- [3] Moreira, M. A., Greca, I. M. & Rodriguez, P. M. L. Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza/aprendizaje de las Ciencias. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, vol. 2/issue 3, pp 37-57, 2002.
- [4] Mikkilä-Erdmann, M., Penttinen, M., Anto, E. & Olkinuora, E. Constructing Mental Models during Learning from Science Text: Eye Tracking Methodology Meets Conceptual Change. In D. Ifenthaler, P. Pirnay-Dummer & J. M. Spector (Eds.). Understanding Models for Learning and Instruction. (pp 63-80). New York: Springer, 2008.
- [5] Greca, I. M. & Moreira, M. A. The kinds of mental representations – models, propositions and images – used by college physics students regarding the concept of field. International Journal of Science Education, vol. 19/issue 6, pp 711-724, 1997.
- [6] Johnson-Laird, P. N. Mental Models. Towards a Cognitive Science of Language, Inference and Consciousness. Cambridge: Harvard University Press, 1983.
- [7] Justi, R. La enseñanza de las Ciencias basada en la elaboración de modelos. Enseñanza de las Ciencias, vol. 24/issue 2, pp 173–184, 2006.
- [8] Oh P. S. & Oh, S. J. What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. International Journal of Science Education, vol. 33/issue 8, pp 1109–1130, 2011.
- [9] Torres, J.; Moura, R., Vasconcelos, C & Amador, F. Nature of Science, Models and Earth Structure Models: Portuguese prospective science teachers' views. Proceedings of the 13th International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM). Bulgaria, 2013, in press.

- [10] Justi, R. S. & Gilbert, J. K. Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, vol. 24/issue 12, pp 1273-1292, 2002.
- [11] Monteiro, A., Nóbrega, C., Abrantes, I. & Gomes, C. Diagnosing Portuguese Students' Misconceptions about the Mineral Concept. *International Journal of Science Education*, vol. 34/issue 17, pp 2705–2726, 2012.
- [12] Treagust, D. Evaluating students' misconceptions by means of diagnostic multiple choice items. *Research In Science Education*, vol. 16, pp 199-207, 1986.
- [13] Bell, F. G. *Geological Hazards: Their Assessment, Avoidance and Mitigation*. London, UK: Spon Press, 2003.
- [14] Francek, M. A Compilation and Review of over 500 Geoscience Misconceptions. *International Journal of Science Education*, vol. 35/issue 1, pp 31-64, 2013.
- [15] Moura, R.; Umaraliev, R., Dalo Moro, G.& Noronha, F. Preliminary results of dispersive wave vs measurements in the granite urban environment of Porto, Portugal. *Proceedings of the 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM)*, Bulgaria, 2012, pp 625-634.

3.

HISTÓRIA DA SISMOLOGIA: ESTUDO DOS SISMOS, SISMÓGRAFOS E MESAS SÍSMICAS

3.1.

História da Ciência em manuais escolares: os sismógrafos e o desenvolvimento da sismologia

Sara Moutinho & Clara Vasconcelos

História da Ciência para o Ensino. 2º Colóquio, pp.136-157,
Coimbra: Universidade de Coimbra.

3.1.1. Resumo

A História da Ciência pode ser reconhecida como temática a lecionar de forma independente ou integrar o ensino de conteúdos conceituais, promovendo simultaneamente a aprendizagem de características da natureza da ciência. Enquanto abordagem educativa ajuda os alunos a construir uma imagem adequada do empreendimento científico, permitindo-lhes desenvolver uma visão mais ampla das descobertas científicas e perceber a sua influência no quotidiano. A sismologia, enquanto ciência que estuda o impacto dos sismos nas populações e conteúdo das metas de aprendizagem do ensino básico, reclama a referência à sua história, incluindo os cientistas que tiveram um contributo importante no seu desenvolvimento e os instrumentos que foram construídos e aperfeiçoados ao longo dos anos, como os sismógrafos. Este trabalho tem como propósito averiguar qual a frequência do recurso à História da Ciência nos manuais escolares de ciências naturais do 7.º ano de escolaridade para lecionar temáticas de sismologia, tendo-se analisado as unidades relativas à temática de sismologia de 9 manuais aceites pelo Ministério da Educação Português e comercializados no ano letivo 2013/2014. A análise de conteúdo foi feita através de uma grelha de análise elaborada e validada para a amostra em estudo. A interpretação da análise realizada permitiu verificar que apenas alguns manuais fazem

referência a episódios da História da Sismologia. Não obstante, a maior parte deles refere apenas breves dados biográficos de alguns cientistas, imagens e fotografias de investigadores e instrumentos utilizados nesta área de investigação. A informação histórica ou os exercícios que integram esta informação surgem na maioria dos manuais em locais de leitura facultativa e, no caso de surgirem em aplicações, limitam-se à realização de uma leitura guiada e meramente descritiva. Desta forma, consideramos que apesar da referência que é feita à História da Ciência nos manuais escolares, as informações e os episódios históricos relatados são pouco valorizados e é-lhes dada pouca ênfase no sentido de promoverem a aprendizagem da natureza da ciência de conteúdos científicos como, por exemplo, a sismologia.

Palavras-chave

História da Ciência; Manuais escolares; Natureza da Ciência, Sismógrafos; Sismologia.

History of Science in scholar textbooks: seismographs and the development of seismology

3.1.2. Abstract

History of science could be recognized as a subject which could be taught autonomously or it could be integrated in teaching contents, promoting the learning of Nature of Sciences' characteristics. As an educational approach, it helps students to build an adequate view of science, allowing them to develop a broader view of scientific discoveries and understand their influence on everyday life. Seismology as a science that studies the impact of earthquakes on populations and content of the learning goals of basic education claims the reference to its history, including the scientists who had an important contribution in its development and the tools that were built over the years, such as seismographs. This paper aims to analyze the History of Sciences' contents presented in Natural Science textbooks to teach themes of seismology. For this, we analysed all the units related to the theme of seismology, in Natural Sciences textbooks of 7th grade accepted by the Portuguese Ministry of Education, and marketed in the school year 2013-2014. It was performed a content analysis using an appropriate table developed and validated to the study sample. The interpretation of the analysis has shown that only some science textbooks refer episodes related to the history of seismology. Nevertheless, most of them refer only brief biographical data of some scientists, images and photographs of researchers and instruments used in this research area. The historical information or exercises that integrate this information arise in most textbooks in voluntary readings' spaces. The exercises for the application of seismology usually are limited to the realization of a guided reading and merely descriptive questions. Thus, we believe that despite the references made to the History of Science in textbooks, the information and the reported historical episodes are undervalued and they are given little emphasis in order to promote the learning of the Nature of Science and scientific content as, for example, seismology.

Keywords

History of Science; Nature of Science; Scholar textbooks; Seismographs; Seismology.

3.1.3. Introdução

A História da Ciência assume um papel preponderante no ensino das ciências uma vez que ajuda os alunos a construir uma imagem adequada da ciência, permitindo desenvolver uma visão mais ampla das descobertas científicas e perceber a sua influência no quotidiano. Este trabalho apresenta um pouco de História da Sismologia, uma abordagem científica de relevância para a sociedade, pelo facto de se debruçar sobre o estudo do impacte dos sismos nas populações. Além disso, por se tratar de um conteúdo integrado nas metas de aprendizagem do ensino básico, a sismologia reclama a referência à sua história, incluindo os cientistas que tiveram um contributo importante no seu desenvolvimento e os instrumentos que foram construídos e aperfeiçoados ao longo dos anos como, por exemplo, os sismógrafos.

3.1.3.1. Os sismógrafos e o desenvolvimento da sismologia

Os terramotos sempre interessaram à Humanidade. As primeiras referências históricas acerca dos terramotos foram feitas por astrónomos da babilónia, e com estas se iniciaram as primeiras tentativas de explicação dos fenómenos sísmicos (Rebelo, 2012).

Aristóteles foi o primeiro a tentar explicar os sismos de forma científica na sua obra *Meteoros*. De acordo com este filósofo, os terramotos ocorriam quando os ventos exteriores sopravam dentro da Terra, onde acumulavam a força suficiente para fazer estremecer o solo. Aristóteles ainda acrescentava, com uma premonição realmente geológica, que *as regiões onde o subsolo é poroso, recebem mais trepidação devido à grande quantidade de vento que absorvem* (Walker, 1990).

Ao longo dos séculos os vários povos que habitavam nos mais diversos lugares do planeta procuraram explicações para os fenómenos naturais que não conseguiam explicar, como é o caso dos sismos. Assim, várias culturas possuíam mitos e lendas que esclareciam as populações sobre a origem destes fenómenos, algumas de carácter religioso, outras não.

Em algumas seitas Budistas, os *Nagas* eram conhecidos como cobras gigantes, muitas vezes olhadas com reverência, mas também consideradas como causa dos terramotos pelos seus movimentos subterrâneos. O famoso pilar de Delhi, que se

encontra num pátio da agora mesquita de Quwwat-ul-Islam, foi erguido no tempo pré-islâmico, em cerca de 400 d.C., no reinado de Chandragupta II. Alguns consideram que o propósito do pilar era servir de ancoragem simbólica do espírito subjacente aos *Nagas*, para restringir os seus movimentos, e assim evitar os terremotos (Reitherman, 2014).

Os japoneses, por outro lado, acreditavam que os terremotos se deviam ao *Namazu*, um peixe-gato gigante que vivia por baixo da Terra e a suportava, que afundasse no oceano. Quando o *Namazu* se contorcia fazia com que a terra tremesse, ocorrendo um terremoto (Reitherman, 2014).

O primeiro aparelho construído para detetar abalos sísmicos foi desenvolvido por Chang Heng, um filósofo chinês, no ano 132 d.C. O instrumento, o *sismoscópio* (como era designado), assemelhava-se a uma jarra de vinho com quase dois metros de diâmetro. Do lado de fora do aparato havia oito cabeças de dragão, que correspondiam às oito principais direções da bússola, e cada uma delas possuía uma bola na boca. Por baixo de cada dragão, na base do aparelho, estava colocado um sapo com a boca aberta em direção ao dragão (figura 3.1). Na ocorrência de um terremoto, uma das oito cabeças de dragão libertava uma bola que caía na boca aberta do sapo. A direção do abalo era assim determinada pelo dragão que tinha libertado a bola. Há relatos que afirmam que o instrumento era usado para detetar terremotos distantes, podendo detetar sismos que ocorressem a quatrocentos quilómetros de distância do local onde se encontrasse o *sismoscópio* (Dewey & Byerly, 1969).

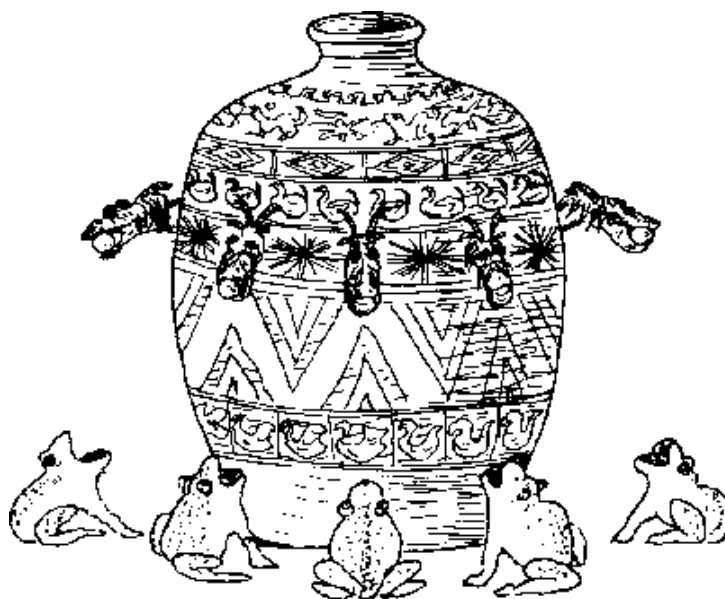


Figura 3.1. *Sismoscópio* desenvolvido por Chang Heng, em 132 d.C.
(Retirado de Dewey & Byerly, 1969, p.184).

No entanto, até ao século XVIII persistiu a ideia que em geral os terramotos eram castigos infligidos por Deus à humanidade e o pensamento era mais influenciado pela superstição do que pelo conhecimento científico, ainda que incipiente. As descrições dos terramotos, ao longo dos séculos, foram sempre dominadas pelo pânico da catástrofe, sendo difícil, por vezes, apurar a veracidade dos factos (Shearer, 1999)

A partir do século XVIII começaram a surgir vários documentos escritos por cientistas com relatos de instrumentos de deteção de terremotos. Em 1703, J. de la Haute Feuille propôs que partindo de uma tigela cheia de mercúrio até à borda seria possível detetar um terramoto, pois o abalo poderia causar o derrame do mercúrio. Para determinar a direção do abalo bastava analisar para qual das oito direções principais da bússola teria o mercúrio derramado, sendo recolhido por recipientes estrategicamente colocados. (Dewey & Byerly, 1969)

Contudo, é importante perceber que a evolução da sismologia como ciência ocorreu em associação com outras descobertas e avanços científicos nomeadamente relacionados com o conhecimento da estrutura interna da Terra e a evolução dos instrumentos e técnicas de análise dos sismos, onde destacamos os sismógrafos. Em relação ao conhecimento da dinâmica interna da Terra, alguns dos dados mais importantes neste domínio devem-se ao engenheiro civil irlandês Robert Mallet, que dedicou parte significativa dos seus trabalhos à recolha de informações referentes a sismos que foram ocorrendo em todo o mundo, resultando, em 1857, num mapa com a geografia dos sismos de todo o mundo, marcando o início da cartografia sísmica (Wood, 1998). Só cerca de um século depois, o mapa de Mallet foi atualizado e melhorado.

Por outro lado, as primeiras gravações conhecidas de um sismo distante foram feitas em 1889 com instrumentos de astronomia, por Ernest Von Rebeur-Paschwitz, um astrónomo alemão. O instrumento era composto por pêndulos horizontais, projetados por ele para medir pequenas mudanças na direção vertical (figura 3.2.). Dois destes pêndulos, localizados em Potsdam e Wilhelmshaven, registaram um grande terremoto que ocorreu a 17 de abril de 1889, e foi sentido no Japão cerca de uma hora antes do mesmo ter sido registado na Alemanha (Fréchet & Rivera, 2012).

Von Rebeur foi o primeiro a utilizar um instrumento de gravação fotográfica para observações sismológicas contínuas. A vantagem deste tipo de registo foi a completa ausência de atrito na ampliação e registo do movimento relativo do pêndulo e da Terra. As únicas fontes de atrito no seu aparelho eram os pontos onde o braço do pêndulo era

articulado. O efeito deste atrito sobre o comportamento dinâmico do pêndulo era independente da ampliação do instrumento. Houve, no entanto, desvantagens no registo fotográfico, em comparação com o registo mecânico, uma vez que os primeiros não foram tão intensos como os registos feitos em papel fumado. As altas oscilações de amplitude não foram registadas no papel fotográfico, que além disso era bastante caro. Por isso, o registo mecânico continuou, assim, a ser amplamente utilizado nos sismógrafos (Dewey & Byerly, 1969).

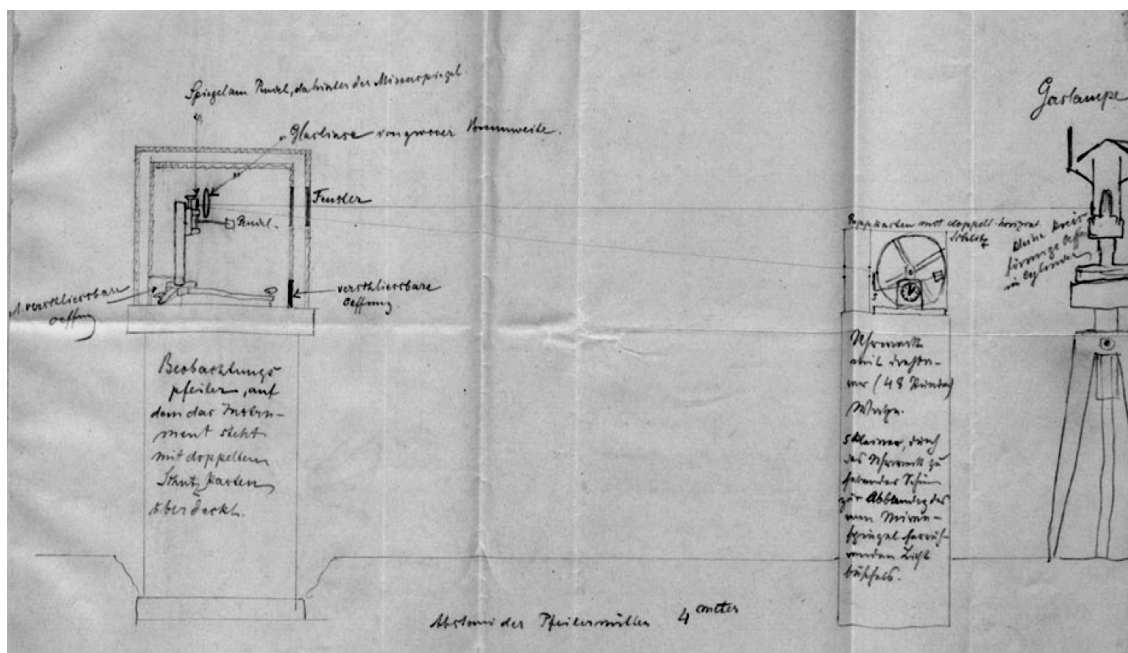


Figura 3.2. Esboço do sismógrafo desenvolvido por Von Rebeur-Paschwitz, evidenciando a montagem do pêndulo (do lado esquerdo), e o sistema de registo feito com uma lâmpada e papel fotográfico (do lado direito) (Retirado de Fréchet & Rivera, 2012, p.326).

Durante alguns anos, vários estudos foram feitos a este nível na tentativa de aperfeiçoar os sismógrafos e as suas leituras.

John Milne, um geólogo inglês e engenheiro de minas, fundador da sociedade sismológica do Japão, em 1880, desenvolveu juntamente com Sir James Alfred Ewing e Thomas Gray, engenheiros mecânicos britânicos, várias investigações sobre sismologia no Japão, que levaram ao desenvolvimento de um sismógrafo de pêndulo horizontal, em 1893. Este sismógrafo permitia detetar diferentes tipos de ondas sísmicas e estimar as suas velocidades (figura 3.3.). Apesar de todos os três cientistas terem trabalhado nessa investigação, o mérito da construção do sismógrafo de pêndulo é atribuído apenas a John Milne. (Instituto Nacional de Prevención sísmica, in press). A construção deste sismógrafo foi um marco importante na evolução da sismologia,

porque este tornou-se o sismógrafo mais compacto construído até à época, sendo possível instalá-lo em cerca de quarenta observatórios em todo o mundo (Lay & Wallace, 1995).

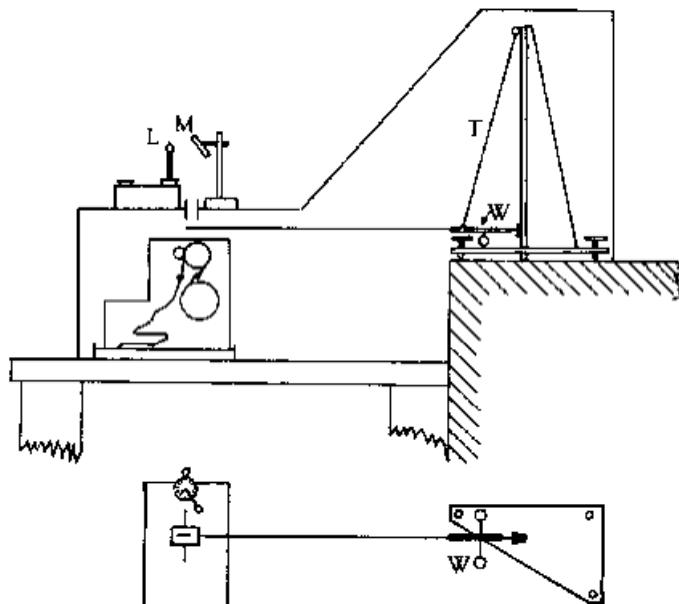


Figura 3.3. Esboço do sismógrafo de pêndulo horizontal de Milne (Retirado de Dewey & Byerly, 1969, p.212). A ilustração de baixo é uma vista de topo do aparelho sem a caixa exterior. T é um fio flexível que sustenta o pêndulo.

Pouco tempo depois, Harry Fielding Reid, um professor de geologia na Universidade John Hopkins, em Baltimore, e um dos responsáveis pela investigação do terramoto de São Francisco, que ocorreu em 1906, formulou a teoria do ressalto elástico a partir de observações e registos efetuados no estudo deste sismo. A partir da análise do deslocamento da superfície do solo, que acompanhou o terremoto de 1906, Reid concluiu que o sismo provavelmente teria envolvido um *ressalto elástico* de tensão elástica previamente armazenada. A base desta teoria surgiu de um elástico esticado que foi quebrado ou cortado, e a energia elástica armazenada na faixa de borracha durante o alongamento, de repente, foi libertada. De forma semelhante, a crosta da Terra podia gradualmente armazenar tensão elástica que seria liberada repentinamente durante um terremoto. A acumulação gradual e a libertação de tensão é atualmente explicada como a *Teoria do Ressalto Elástico*. A maioria dos terremotos resulta da recuperação elástica súbita de energia armazenada anteriormente (Reid, 1910).

Na transição do século XIX para o século XX a tecnologia relativa aos sismógrafos melhorou significativamente, e os dados relativos às características das ondas sísmicas

foram-se acumulando e reforçando os conhecimentos dos cientistas sobre os vários tipos de ondas. Desta forma, começaram também a ser desenvolvidas investigações sobre a estrutura interna da Terra e a origem dos sismos, que conduziram à descoberta do núcleo da Terra por Oldham, em 1906, à determinação exata da sua profundidade por Gutenberg, em 1913, a descontinuidade de Moho, por Mohorovicic em 1909, e a descoberta do núcleo interno por Lehmann em 1936. Todos estes dados foram importantes para a compreensão da estrutura interna da Terra mas também para a explicação da origem dos sismos (Lay & Wallace, 1995). Foram todos estes avanços científicos que permitiram o aperfeiçoamento dos sismógrafos usados nestes estudos, tornando-os cada vez mais sensíveis e precisos.

Atualmente, a sismologia é uma ciência fundamental no sentido em que se preocupa também com o impacto dos sismos nas populações, por isso foram surgindo várias áreas científicas relacionadas com esta ciência, como a engenharia sísmica, a avaliação do risco sísmico ou os riscos naturais. Dada toda a sua importância para a sociedade, alguns dos seus conteúdos estão contemplados nas metas do ensino básico e nos programas de geologia do ensino secundário português. Além dos conteúdos científicos, é também fundamental a referência à História da Ciência para promover a contextualização de toda a informação, permitindo que os alunos lhe atribuam um significado e compreendam melhor algumas características da ciência.

3.1.3.2. História da Ciência nas aulas de Ciências Naturais

Atualmente, grande parte dos investigadores em Ensino da Ciências reconhecem elevada importância na utilização da História da Ciência (HC) ao nível da educação em ciências (Pereira & Amador, 2007). Na verdade, a HC pode ajudar os alunos a adquirir uma imagem adequada da Natureza da Ciência (NdC) (Forato, Martins & Pietrocola, 2012), oferecendo-lhes a oportunidade de compreender não só que o conhecimento científico é provisório e incerto, mas também que a ciência não é totalmente objetiva nem possui verdades absolutas (Lind, 1980). O recurso à HC auxilia a aprendizagem dos conceitos científicos, promovendo um maior interesse e motivação dos estudantes, além de permitir que eles desenvolvam uma melhor atitude em relação à ciência e compreendam a sua relevância na sociedade (Hacieminoglu, 2014).

Para transmitir uma imagem adequada do real, a ciência necessita de apresentá-la como uma vivência do empreendimento humano coletivo, onde o passado exerce

influência sobre o seu presente. Desta forma se compreende o papel fundamental da HC, uma vez que é imprescindível o conhecimento do passado e da colaboração entre os cientistas para o acontecimento de uma descoberta científica (Leite, 2002). Assim sendo, a ciência deve ser vista como uma atividade coletiva que progride através do consenso definido por um determinado contexto histórico e cultural, contrariamente ao que muitas vezes se pensa, ou seja que é resultante do trabalho de indivíduos isoladamente.

Leite (1986) defende que a HC é também fundamental para promover nos estudantes a mudança de *ideias aristotélicas*, que consistem em ideias que não são cientificamente aceites, mas que se assemelham, em termos de conteúdo, ao conhecimento concetual que outrora os cientistas desenvolveram. Desta forma, a HC tem um contributo importante na formação dos alunos pois permite ilustrar a modificação, a revisão, a rejeição e a reintegração de modelos, bem como a sua relatividade, permitindo aos alunos analisar criticamente os modelos históricos (Forato, Martins & Pietrocola, 2012; Lind, 1980).

Com o recurso à HC os alunos encontram muitos domínios da atividade humana como a filosofia antiga (Hacieminoglu, 2014), o início da ciência natural, a influência mútua da ciência e da tecnologia, o desenvolvimento social resultante de descobertas científicas, e até mesmo questões políticas, religiosas, metafísicas e epistemológicas (Leite, 2002). Assim, os alunos podem adquirir uma visão mais ampla dos eventos científicos e perceber a influência da ciência na nossa maneira de viver, e como esta é influenciada por ela. Por outras palavras, os alunos compreendem que a ciência é influenciada interna e externamente (Brush, 2000, Carneiro & Gastral, 2005).

Contudo, é fundamental que os professores esclareçam os alunos de que toda a história resulta da seleção de informações a partir da interpretação dos factos e contextos analisados pelo historiador, mostrando assim que o contexto histórico é sempre construído (Lombardi, 1997). Mas nem o historiador nem o educador de ciência podem impor ao passado as normas do presente e avaliar a ciência do passado em oposição ao conhecimento atual (Brush, 2000). Desta forma, realça-se a necessidade dos professores estarem informados e bem preparados para promoverem o desenvolvimento do conhecimento científico dos alunos através da HC (Seker, 2011).

A abordagem à HC exige mentes abertas que sejam capazes de participar em discussões sobre vários tópicos da ciência onde muitas vezes é difícil encontrar

respostas certas. Este exercício permite que os alunos desenvolvam um conjunto de competências importantes na sua formação e que os preparem para a sua vida futura.

Do ponto de vista *prático e aplicado*, a HC pode ser vista como *conteúdo (em si)* das disciplinas científicas, e como estratégia didática facilitadora na compreensão de conceitos, modelos e teorias (Martins, 2007), defendendo-se por isso a sua inclusão nos currículos de ciências.

Mathews (1994) defende a inclusão da HC nos currículos escolares pois considera que ela promove uma melhor compreensão dos conceitos científicos e dos métodos. Além disso, estabelece a ligação entre o desenvolvimento do pensamento individual com o das ideias científicas, sendo por isso intrinsecamente valiosa. Os episódios mais relevantes e significativos da HC deveriam ser conhecidos por todos os alunos uma vez que a compreensão da NdC implica algum conhecimento sobre a história da ciência (Prestes & Caldeira, 2009).

O recurso à HC, com o exame da vida e da época dos investigadores individuais, permite-nos perceber que a ela *humaniza a matéria científica, tornando-a menos abstrata e mais interessante para os alunos* (Mathews, 1994, p.50). Assim, a HC permite o estabelecimento de conexões dentro de tópicos e disciplinas científicas, bem como com outras disciplinas académicas.

3.1.4. Método

Com este trabalho pretendeu-se averiguar qual a frequência do recurso à história da ciência nos manuais de ciências naturais do 7.º ano de escolaridade para lecionar temáticas de sismologia. Desta forma, foram analisadas as unidades relativas à temática de sismologia de manuais de ciências naturais do 7.º ano aceites pelo Ministério da Educação Português e comercializados no ano letivo 2013-2014. Na totalidade foram analisados 9 manuais, publicados por 6 editoras escolares.

Esta análise foi feita adaptando-se uma grelha de análise de manuais escolares já validada e utilizada num trabalho anterior por Pereira e Amador (2007) e que, por sua vez, foi adaptada do trabalho original de Leite (2002). Os resultados foram analisados

recorrendo à análise de conteúdo, técnica adequada a um estudo exploratório (Bardin, 1977), que através de um enquadramento heurístico ajuda a identificar concepções epistemológicas implícitas.

A grelha utilizada possui seis categorias de análise: tipo e organização da informação histórica; documentos históricos referenciados; correção e adequação da informação histórica; contextualização dos conteúdos históricos; estatuto dos conteúdos históricos; e propostas de atividades envolvendo a história da ciência. Em algumas das categorias enunciadas foram também definidas subcategorias identificadas na tabela 3.1.

Tabela 3.1. Categorias e subcategorias de análise dos manuais de ciências naturais.

Categoria	Subcategoria
Tipo e organização da informação histórica	<ul style="list-style-type: none"> - Os protagonistas: filósofos naturais, naturalistas e cientistas - Evolução do conhecimento científico
Os documentos históricos referenciados	<ul style="list-style-type: none"> - Representações pictográficas - Documentos/textos e imagens originais (fontes históricas primárias) - Relatos de observações/experiências históricas
Correção e adequação da informação histórica	
Contextualização dos conteúdos históricos	
Estatuto dos conteúdos históricos	<ul style="list-style-type: none"> - Essencial/básico - Complementar
Propostas de atividades envolvendo a História da Ciência	<ul style="list-style-type: none"> - Obrigatoriedade ou não na realização das atividades - Tipologia das atividades

3.1.5. Resultados e discussão

Após a recolha e análise dos manuais escolares, os resultados obtidos foram organizados em várias tabelas consoante as seis categorias de análise. Os resultados da análise são apresentados de seguida, divididos em seis secções que correspondem às seis categorias de análise.

3.1.5.1. Tipo e organização da informação histórica

Dentro desta categoria foram definidas duas subcategorias: os protagonistas: filósofos naturais, naturalistas e cientistas e evolução do conhecimento científico.

Na primeira subcategoria incluíram-se os indicadores *dados biográficos, características pessoais e relatos de episódios/anedotas*. Na subcategoria *evolução do conhecimento científico* incluíram-se aspetos diversificados que vão desde *referências a progressos científicos, descrição de atividades observacionais/experimentais, modelos evolutivos e responsáveis pela evolução*.

Na subcategoria *os protagonistas: filósofos naturais, naturalistas e cientistas* é incluída informação histórica relativa aos protagonistas da HC. A sua análise compreendeu a recolha de informações tendo por base os três indicadores supracitados e apresentados na tabela 3.2., por se considerar que permitem caracterizar de forma exhaustiva os protagonistas da HC.

Relativamente à subcategoria *evolução do conhecimento científico* foi incluída toda a informação histórica que é apresentada de forma a privilegiar a perceção de processos de mudança, quer numa perspetiva diacrónica quer sincrónica. Por isso a definição de todos os indicadores foi feita de forma a ser possível compreender como ocorreu a evolução do conhecimento científico. As *referências a progressos científicos* referem-se a propostas de outras formas de organizar informação, novas teorias, resultados obtidos na sequência de experiências e, o aperfeiçoamento de instrumentos técnicos.

Em relação à *descrição de atividades observacionais/experimentais* considerou-se importante distinguir se elas se referiam a aspetos sincrónicos, ou seja, se apresentavam os episódios históricos e as descobertas científicas como se fossem

obtidos após a primeira tentativa de estudo, não sendo referidos os fracassos, nem o número de anos que os diferentes cientistas levaram a realizar as mesmas experiências antes de terem sucesso, e a aspetos diacrónicos, evidenciando que os progressos científicos se desenvolvem em períodos de tempo mais ou menos longos.

Relativamente aos *modelos evolutivos* considerou-se importante distinguir uma perspetiva linear e acumulativa, onde se apresenta o desenvolvimento científico com poucas referências a controvérsias, debates ou períodos de mudança de paradigma, de uma perspetiva revolucionária, onde se enfatizam todas as revoluções que ocorreram na ciência ao longo dos tempos, referências a controvérsias ou mudanças teóricas.

Por fim, a análise da informação histórica relativa aos *responsáveis pelo progresso científico* foi classificada como fruto do trabalho individual dos cientistas, como resultado de grupos restritos de cientistas (grupos com menos de três pessoas), e como resultado do trabalho de comunidades científicas (grupos com mais de três pessoas). A tabela 2 apresenta os resultados da análise dos manuais para todas as subcategorias referidas anteriormente.

A tabela 3.2. mostra que em relação à subcategoria *Os protagonistas: filósofos naturais, naturalistas e cientistas* vários manuais apresentam informações relativas aos dados biográficos dos protagonistas da HC. Estas informações dizem geralmente respeito às datas relativas ao seu nascimento e à sua morte, nacionalidade e profissão.

As informações surgem na maior parte dos casos em locais de leitura essencial, ou seja, ao longo do corpo do texto ou acompanhando imagens que ilustram as páginas de texto dos manuais.

Tabela 3.2. Resultados da análise dos manuais na categoria *tipo e organização da informação histórica* (n=9).

Subcategoria	Indicadores	Manuais									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	
Os protagonistas: filósofos naturais, naturalistas e cientistas	- Dados biográficos	-	2	2	5	2	-	-	6	-	
	- Características pessoais	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	- Relatos de Episódios/anedotas	-	-	-	-	-	-	1	-	-	
Evolução do conhecimento científico	- Referências a progressos científicos	-	1	-	4	1	-	1	-	-	
	- Descrição de atividades observacionais /experimentais	-	1	1	1	-	-	-	-	1	
	- Valorizando aspetos diacrónicos	-	1	2	2	-	-	-	1	-	
	- Perspetiva linear e acumulativa	-	1	1	-	-	-	1	1	-	
	- Modelos evolutivos	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
	- Referências a revoluções científicas, controvérsias, mudanças teóricas, etc.	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
	- Trabalho individual	-	1	3	3	1	-	1	4	-	
	- Responsáveis pela evolução	-	1	-	-	1	-	1	1	-	
	- Grupos restritos (<3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	- Comunidades científicas (>3)	-	-	-	-	-	-	-	-		

No entanto, no manual H, os dados biográficos dos cientistas surgem em locais de leitura facultativa, mais propriamente na página inicial do capítulo relativo à sismologia, como ilustrado na figura 3.4.

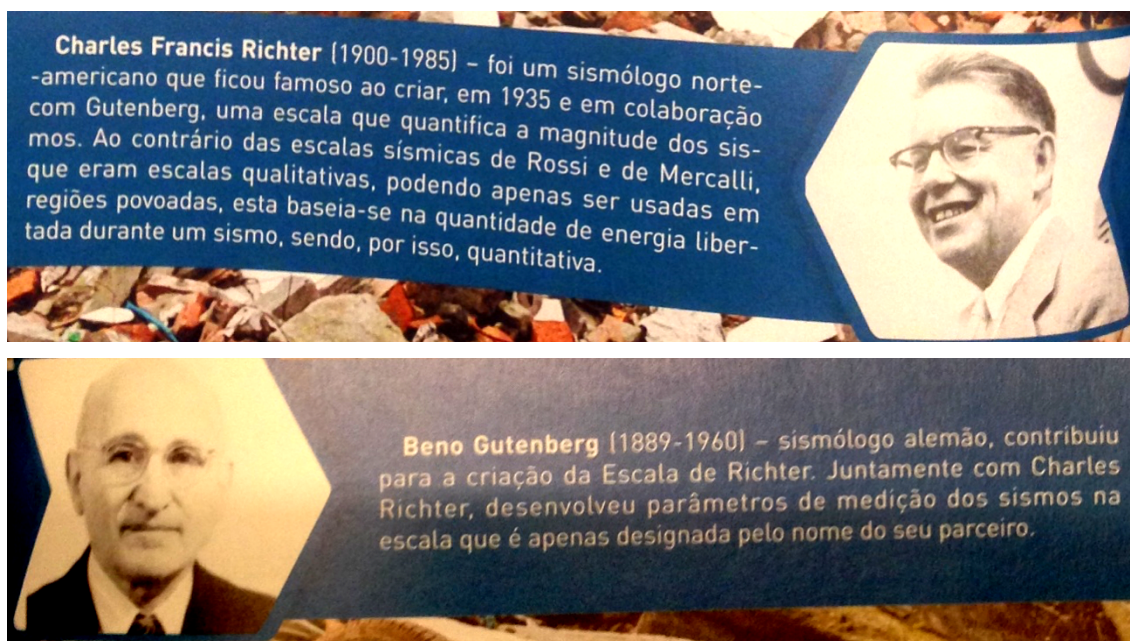


Figura 3.4. Dados biográficos de Charles Richter e Beno Gutenberg (manual H, p.124 e 125)

A tabela 3.2. mostra também que nenhum manual possui informação relativa às *caraterísticas pessoais* dos protagonistas da HC. Em todos os manuais se verifica uma preocupação na descrição dos conteúdos científicos, e os conteúdos históricos apresentados surgem geralmente como complemento da informação científica. Assim, parece não haver lugar para a descrição de algumas das caraterísticas pessoais dos cientistas, ao nível das unidades relativas à sismologia.

Quanto aos *relatos de episódios/anedotas*, apenas o manual G apresenta uma descrição de um episódio que geralmente não é conhecido pelos alunos e também não é chamada a atenção para ele.

A magnitude é medida por uma escala inventada por Charles Richter e Beno Gutenberg (apesar de este último nunca ser referido), designada por escala de Richter (manual G, p. 135).

A análise deste breve episódio leva-nos a refletir sobre aquilo que muitas vezes se passa ao nível da investigação científica, que é o facto de alguns nomes de cientistas serem ocultados, dando a ideia que as descobertas científicas resultam do trabalho de apenas um cientista, o que em muitos casos não corresponde à realidade. Hoje sabemos que os cientistas trabalham geralmente integrados em grupos de investigação, e as descobertas científicas são fruto do trabalho colaborativo.

Na subcategoria *evolução do conhecimento científico*, foi considerado como indicador a *referência a progressos científicos*, tendo-se verificado pela análise da tabela 3.2. que 4 manuais descrevem alguns progressos científicos que ocorreram ao longo da história. Esses relatos ajudam os alunos a perceber como foi construído o conhecimento científico. A *referência a progressos científicos* surge assim relacionada com a proposta de outras formas de organizar informação, novas teorias, resultados obtidos na sequência de experiências e, com o aperfeiçoamento de instrumentos técnicos.

Eis um exemplo deste tipo de referências:

Em 1902, Giuseppe Mercalli propôs uma escala com apenas dez graus que, mais tarde, foi alargada para doze graus por Adolfo Cancani. Em 1912, August Sieberg caracterizou cada um dos graus da escala de uma forma mais detalhada. Em 1992, a Comissão Europeia de Sismologia, baseada na escala de Mercalli e noutras, introduziu uma nova escala, a EMS - escala macrossísmica europeia (manual B, p.129).

Este excerto mostra um exemplo de um progresso científico relacionado com o aperfeiçoamento de instrumentos técnicos, embora neste caso não se trate propriamente de um instrumento mas de uma escala usada na avaliação dos efeitos dos sismos.

No que diz respeito à *descrição de atividades observacionais/experimentais* considerou-se como indicadores a valorização de aspetos sincrónicos e diacrónicos. Pela análise da tabela 3.2. verifica-se que os manuais analisados apresentam mais aspetos diacrónicos, ou seja, aspetos que demonstram que os progressos científicos se desenvolvem em períodos de tempo mais ou menos longos.

Surgiram, então, várias escalas de intensidades, sendo a mais conhecida a de Mercalli (1902) com 12 graus expressos em numeração romana. A Escala de Mercalli Modificada (1931), revista em 1956, é a actualmente usada em muitos países, entre os quais, Portugal (manual C, p.151).

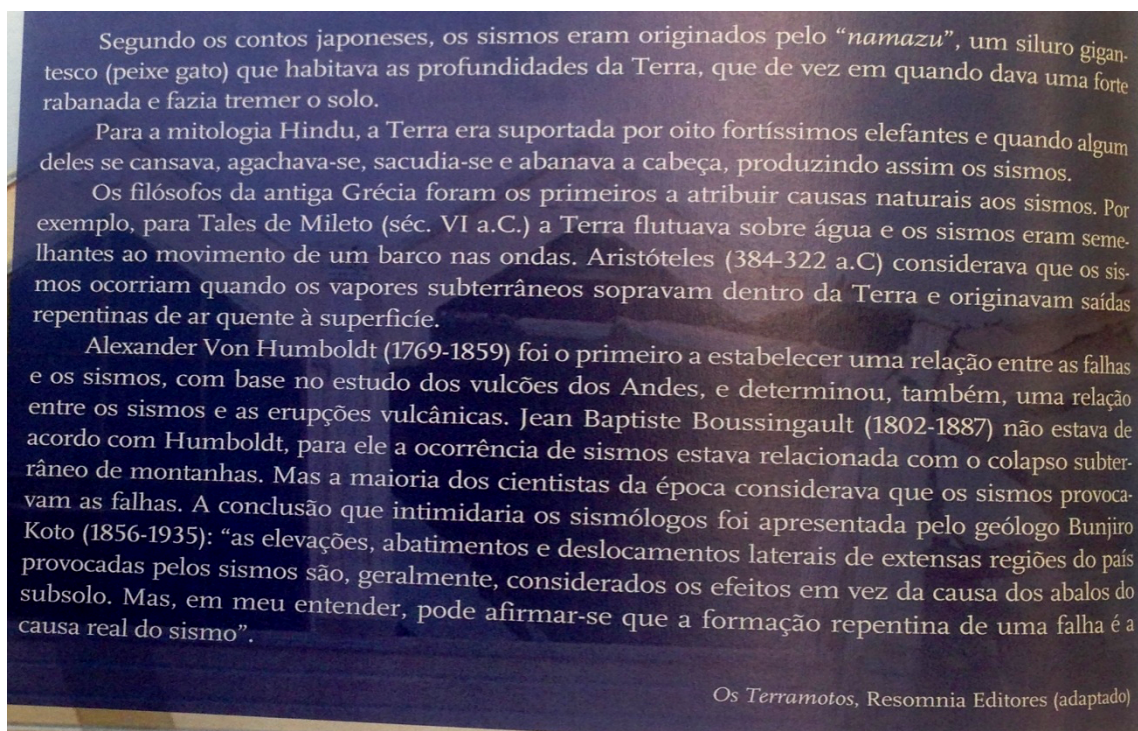


Figura 3.5. Texto de início de capítulo contemplando aspetos diacrónicos (manual D, p.160).

Por outro lado, apesar de menos frequentes verifica-se também a existência de alguns episódios que realçam aspetos sincrónicos, como por exemplo:

No século XIX, Robert Mallet desenhou o primeiro mapa de registo dos efeitos de um sismo. Para esse efeito, ligou os pontos onde se tinha registado a ocorrência de danos semelhantes (manual C, p.151).

A Escala de Richter, elaborada por Charles Richter, em 1935, determina a amplitude de um sismo (manual D, p.166).

Ao contrário do que se poderia pensar, nestes manuais foram encontrados mais registos de aspetos diacrónicos, dando algumas pistas relativamente ao número de anos que os diferentes cientistas levaram a realizar as experiências e a aperfeiçoar instrumentos e técnicas antes de terem sucesso, enfatizando por várias vezes que os progressos científicos se desenvolvem em períodos de tempo mais ou menos longos. Este tipo de referências são importantes porque permitem esclarecer algumas das conceções que frequentemente os alunos possuem, como por exemplo idealizarem os cientistas como indivíduos de certa forma excêntricos e dotados de uma inteligência superior.

Da observação da tabela 3.2. podemos também facilmente verificar que a evolução do conhecimento científico é apresentada habitualmente como um processo linear e acumulativo, com poucas referências a controvérsias, debates, períodos de mudança de paradigma, como sugerem os seguintes excertos:

Em 1902, Giuseppe Mercalli propôs uma escala com apenas dez graus que, mais tarde, foi alargada para doze graus por Adolfo Cancani. Em 1912, August Sieberg caracterizou cada um dos graus da escala de uma forma mais detalhada. Em 1992, a Comissão Europeia de Sismologia, baseada na escala de Mercalli e noutras, introduziu uma nova escala, a EMS - escala macrossísmica europeia (manual B, p.129).

Esta escala [escala de Mercalli] foi inventada em 1902 pelo italiano Giuseppe Mercalli. A que se usa atualmente foi reformulada em 1956 por Richter e é designada por escala de Mercalli modificada (manual G, p.135).

Em 1931, o cientista japonês Wadati, concebeu uma escala para a magnitude. Esta escala foi posteriormente aperfeiçoada por Richter e ficou conhecida por Escala de Richter (manual H, p.133).

No entanto, um dos manuais apresenta algumas referências a revoluções científicas, controvérsias e mudanças teóricas que ocorreram ao longo do tempo. Estas informações estão presentes no manual D, como é ilustrado na figura 3.5.

Por último, a responsabilidade pelo progresso científico é quase sempre atribuída a indivíduos e não a grupos, nem a comunidades de investigadores. Os resultados presentes na tabela 3.2. mostram que maioria dos manuais (f=6) apresenta exemplos de situações onde é transmitida a ideia do trabalho individual dos cientistas. Além disso, a maior parte das referências encontradas dizem respeito às escalas desenvolvidas por Richter e por Mercalli para avaliação do efeito dos sismos.

A escala de Richter, elaborada por Charles Richter, em 1935, determina a magnitude de um sismo (manual D, p.166).

Giuseppe Mercalli (1850 – 1914), vulcanólogo e sismólogo italiano responsável pela elaboração da escala de intensidade sísmica de Mercalli, em 1902 (manual E, p.195).

Contudo, em alguns manuais foram também encontradas informações históricas sobre os primeiros sismógrafos construídos. Também neste caso é atribuída a responsabilidade do progresso científico a um único cientista, como se pode constatar nos exemplos:

O primeiro sismógrafo conhecido foi inventado na China, em 132 (manual C, p.149).

No ano 132, o chinês Chang Heng inventou um sismógrafo. (...) (manual D, p.163).



Figura 3.6. Réplica do sismógrafo de Chang Heng (manual C, p.149).

Estes dados podem ser explicados pelo facto da maioria das referências dizerem respeito a períodos anteriores ao século XIX, onde o trabalho dos cientistas era maioritariamente individual. Contudo, os cientistas estabeleciam correspondência com

outros cientistas e academias científicas, por isso estas informações possuem também uma grande importância e devem ser tidas em consideração (Pereira & Amador, 2007).

Destacamos também alguns manuais que referem situações cujas descobertas científicas foram levadas a cabo por grupos restritos de cientistas ($f=4$). Contudo, todos os exemplos encontrados se referem ao mesmo episódio, ou seja, ao desenvolvimento da escala de Richter, que resultou de um trabalho conjunto entre Charles Richter e Beno Gutenberg.

O sismólogo californiano Charles Richter criou, em colaboração com o sismólogo alemão Beno Gutenberg, uma escala que quantifica a magnitude dos sismos. Richter e Gutenberg trabalharam juntos no Instituto de Tecnologia da Califórnia (manual B, p.129).

Charles Richter (1900 – 1985), sismólogo norte-americano que desenvolveu em 1935, conjuntamente com Beno Gutenberg, a escala de magnitude local, mais conhecida por escala de Richter (manual E, p.198).

A magnitude é medida por uma escala inventada por Charles Richter e Beno Gutenberg (apesar de este último nunca ser referido), designada escala de Richter (manual G, p.135).

Como se pode constatar, o trabalho em pequenos grupos não é destacado nesta temática, embora consideremos que este tipo de informação histórica é fundamental pois mostra a importância do trabalho cooperativo, das trocas de ideias e da ajuda mútua que este proporciona. O mesmo se verifica relativamente ao trabalho desenvolvido pelas equipas de cientistas, ou comunidades científicas, uma vez que nenhum dos manuais contempla este tipo de situações.

3.1.5.2. Os documentos históricos referenciados

Dentro desta categoria foram definidas três subcategorias: representações pictográficas; documentos/textos e imagens originais (fontes históricas primárias) e relatos de observações/experiências históricas.

Na análise desta categoria foram contemplados textos, ou excertos de textos e imagens provenientes de fontes bibliográficas primárias. Também as imagens, fotografias ou representações de instrumentos foram contabilizadas nesta categoria.

Os resultados da análise estão apresentados na tabela 3.3.

Tabela 3.3. Resultados da análise dos manuais na categoria *documentos históricos referenciados* (n=9).

Subcategorias	Indicadores	Manuais								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Representações	- Pessoais	-	2	2	2	2	-	-	5	-
pictográficas	- Instrumentos/equipamentos	-	3	2	8	5	2	1	3	1
Documentos/textos e imagens originais (fontes históricas primárias)		-	-	-	1	2	-	-	1	-
Relatos de observações/experiências históricas		-	-	-	-	-	-	-	-	-

Relativamente às *representações pictográficas*, a tabela 3.3. mostra que a maioria dos manuais (f=5) apresenta representações pessoais de alguns cientistas/investigadores que tiveram um papel de relevo nesta temática. Contudo, verifica-se que na maioria dos casos as representações correspondem quase sempre aos mesmos investigadores, sendo os mais comuns Charles Richter e Giuseppe Mercalli (figura 3.7.), embora por vezes surjam também representações de Beno Gutenberg.



(manual C, p.153 e 151)



(manual E, p.198 e 195)

Figura 3.7. Representações de Charles Richter e Giuseppe Mercalli (manuais C e E).

Em relação às *representações dos instrumentos ou equipamentos*, elas estão presentes em quase todos os manuais ($f=8$). Todas estas representações correspondem geralmente a imagens de sismógrafos e sismogramas (figura 3.8).

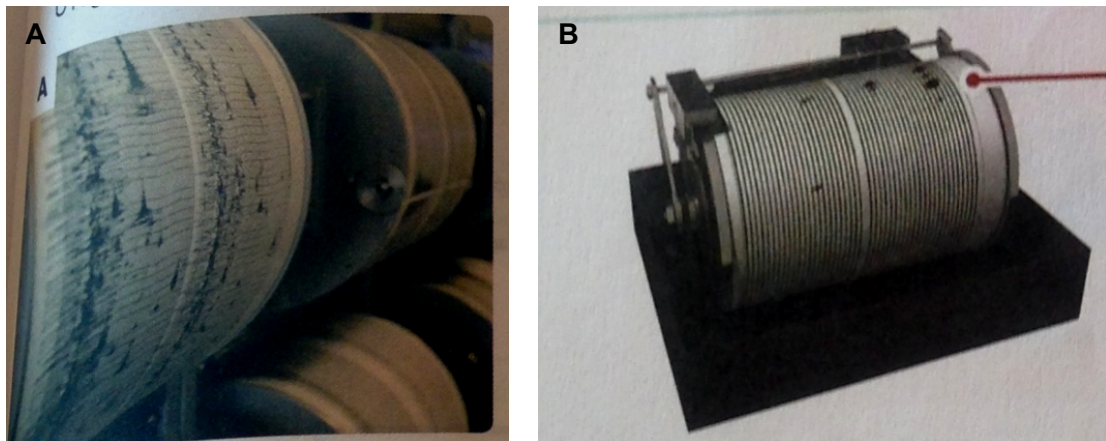


Figura 3.8. A) Sismograma e B) sismógrafo (manual F, p. 155 e 168).

Apesar das imagens encontradas nos diferentes manuais serem diferentes por vezes, todas elas pretendem representar sempre os mesmos equipamentos, neste caso, os sismógrafos e os registos das suas leituras, os sismogramas.

Por outro lado, são raras as informações retiradas de *documentos/textos e imagens originais (fontes históricas primárias)*, havendo poucos manuais a apresentar

este tipo de informação. Além disso, em todos os manuais, estas informações referem-se apenas a imagens de sismógrafos antigos. A maior parte destas informações encontram-se em locais de leitura facultativa, assim como os *relatos de observações/experiências históricas*. Apenas um manual apresenta uma representação da *Gaiola Pombalina* (figura 3.9.B), a estrutura dos edifícios construídos em Lisboa depois do terramoto de 1755, e uma imagem de um sismógrafo antigo (figura 3.9.A). Estas informações estão também presentes em locais de leitura facultativa, e geralmente não é referida a fonte bibliográfica de onde foram retiradas as imagens.

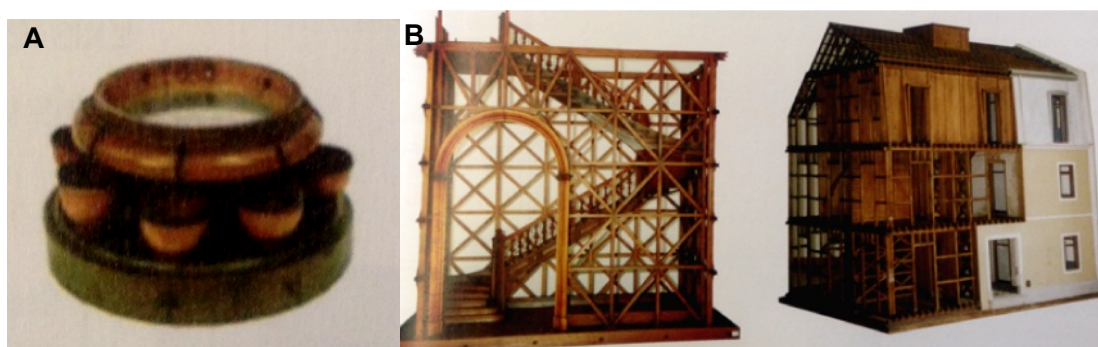


Figura 3.9. A) Sismógrafo do século XIX, B) *Gaiola Pombalina* (manual D, p.195 e 201).

Em relação aos *relatos de observações/experiências históricas* não foi encontrado em nenhum manual analisado registos destas informações, ao nível dos capítulos relativos à sismologia.

3.1.5.3. Correção e adequação da informação histórica

Relativamente a esta categoria podemos afirmar, que em termos gerais, não foram encontradas incorreções na informação histórica disponibilizada nos manuais analisados, destacando-se apenas que quase nunca são referidas as fontes bibliográficas das informações apresentadas nos manuais.

Depois da análise de todos os manuais verifica-se que não há referências a fracassos no processo de investigação. Apenas são relatadas as descobertas e os avanços científicos, como se toda a evolução da ciência dependesse apenas deles (Carneiro & Gastal, 2005).

3.1.5.4. Contextualização dos conteúdos históricos

Na análise desta categoria foi contemplada toda a informação histórica que surge diretamente relacionada com aspetos científicos, tecnológicos, sociais, políticos ou religiosos nos manuais. Tendo em conta que a nossa análise apenas incidiu sobre a temática referente à sismologia em cada um dos manuais, decidimos quantificar os tipos de contextualização das referências à histórica da ciência. Os resultados estão apresentados na tabela 3.4.

Tabela 3.4. Resultados da análise dos manuais na categoria contextualização dos conteúdos históricos (n=9).

Subcategoria	Indicadores	Manuais								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Tipos de contextualização	– Científica	-	3	4	4	3	-	3	3	1
	– Tecnológica	-	1	-	-	1	-	-	-	-
	– Social	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	– Política	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	– Religiosa	-	-	-	1	-	-	-	-	-

No que diz respeito à categoria *contextualização dos conteúdos históricos* (tabela 3.4.) verificámos que quase todos os manuais apresentam referências à História da Ciência, e todas elas são cientificamente contextualizadas. Em alguns casos, é também feita uma contextualização tecnológica, estando normalmente relacionada com a contextualização científica. Desta forma é possível compreender a influência dos avanços tecnológicos na evolução do conhecimento e dos processos científicos. Note-se o exemplo:

A par com a construção dos primeiros sismógrafos modernos, no início do século XX, foram-se organizando os primeiros observatórios sísmicos. Hoje, cobrem todos os locais habitados do planeta (...) (manual C, p. 149).

Foi ainda considerado que um dos manuais (manual D) contemplava informação histórica cuja contextualização seria religiosa. Neste caso, a informação diz respeito à crença que os povos da antiguidade tinham relativamente à origem dos sismos, fazendo-se referência à mitologia hindu, podendo ler-se:

Para a mitologia Hindu, a Terra era suportada por oito fortíssimos elefantes e quando algum deles se cansava, agachava-se, sacudia-se e abanava a cabeça, produzindo assim os sismos (manual D, p.160).

3.1.5.5. Estatuto dos conteúdos históricos

Esta categoria contempla duas subcategorias tendo em conta o estatuto dos conteúdos históricos: essencial/básico; e complementar. Considera-se que os conteúdos históricos têm um *estatuto essencial* se surgem em locais de leitura prioritária, e têm um *estatuto complementar* se surgem em locais de leitura facultativa e de apoio, como por exemplo notas de margem ou páginas iniciais dos capítulos do manual.

Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 3.5.

Tabela 3.5. Resultados da análise dos manuais na categoria *estatuto dos conteúdos históricos* (n=9).

Subcategorias	Manuais								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Essencial/básico	-	3	3	2	1	-	2	2	-
Complementar	-	1	3	2	3	-	-	6	1

Através da análise dos manuais verificou-se que em quase todos eles os conteúdos históricos surgem tanto em locais de leitura essencial como em locais de leitura complementar. Um exemplo de informações históricas que surgem em locais de leitura essencial é a figura 3.10. que ilustra um excerto de um texto que constitui uma parte do corpo do texto do manual C (p. 151).

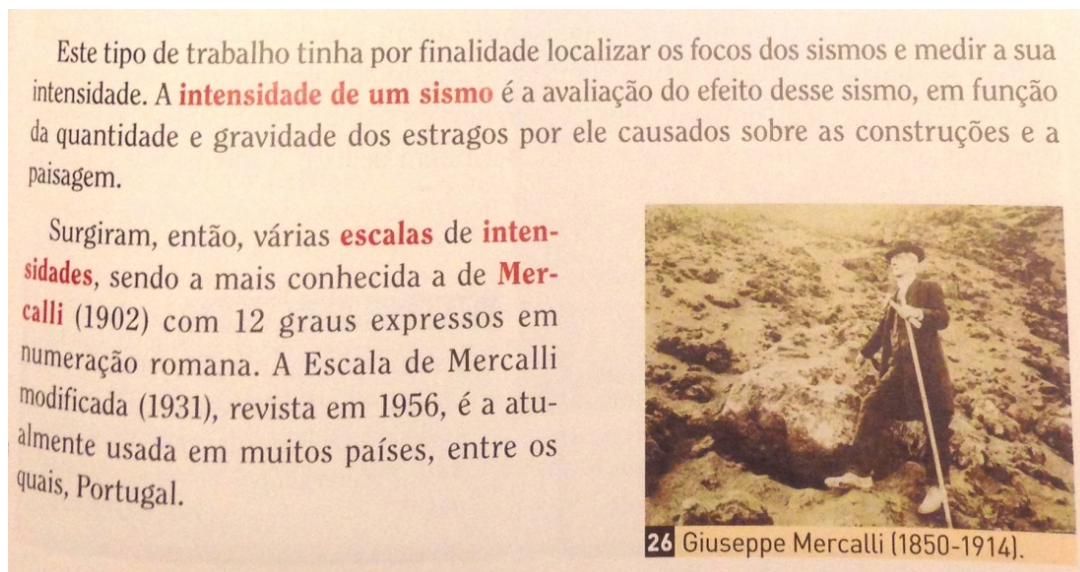


Figura 3.10. Excerto de um texto do manual C (p.151).

No caso das informações que surgem em locais de leitura complementar destaca-se o exemplo do manual H (pp.124 - 125), onde é possível observar nas páginas do início do capítulo alguma informação relativa à história da sismologia, destacando alguns cientistas importantes nesta área científica (figura 3.11).

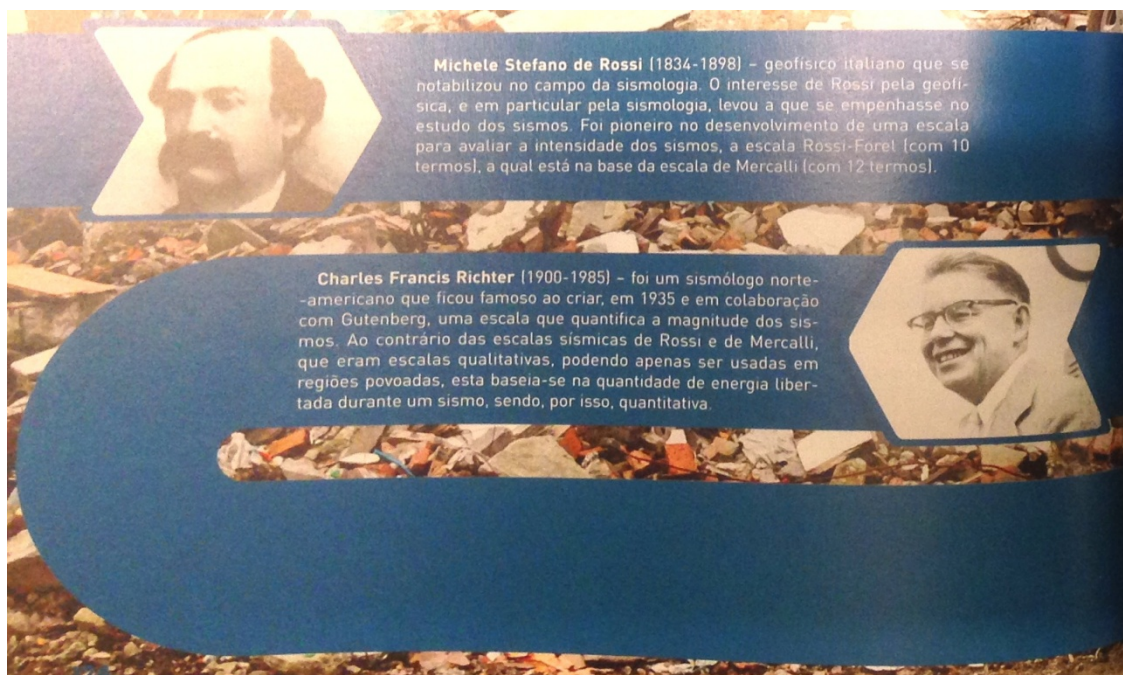




Figura 3.11. Páginas do início do capítulo “Atividade sísmica como consequências da dinâmica interna da Terra” (manual H, pp. 124 – 125).

3.1.5.6. Propostas de atividades envolvendo a História da Ciência

Dentro desta categoria foram definidas duas subcategorias: obrigatoriedade ou não na realização das atividades e tipologia das atividades. No caso da *obrigatoriedade das atividades* considerou-se que estas seriam prioritárias se se encontrassem ao longo do texto principal, em locais de leitura essencial, sendo todas as outras atividades consideradas facultativas.

Relativamente à tipologia das atividades, estas podem ser de leitura guiada se dizem respeito à leitura e interpretação de textos, são atividades de pesquisa bibliográfica todas as atividade onde é solicitada qualquer tipo de pesquisa em fontes de informação externas ao manual, as atividades que incluem a realização de experiências históricas incluem todas as propostas de atividades em que se sugere a realização de qualquer tipo de replicação, e finalmente as atividades de análise de dados históricos correspondem a todas as outras atividades que não puderam ser incluídas nas categorias anteriores. Os resultados estão apresentados na tabela 3.6.

Tabela 3.6. Resultados da análise dos manuais na categoria *propostas de atividades envolvendo a História da Ciência* (n=9).

Subcategorias	Indicadores	Manuais									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	
Obrigatoriedade ou não na realização das atividades	- Prioritárias	-	2	-	1	1	-	1	1	-	
	- Livres/ facultativas	1	-	-	-	1	-	1	-	-	
Tipologia das atividades	- Leitura guiada	1	2	-	1	2	-	2	1	-	
	- Pesquisa bibliográfica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	- Realização de experiências históricas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	- Análise de dados históricos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Pela análise da tabela 3.6. verifica-se que nem todos os manuais analisados apresentam atividades que envolvam a História da Ciência. Em relação à obrigatoriedade da realização destas atividades, nos manuais onde elas estão presentes possuem frequentemente um carácter prioritário, sendo apresentadas ao longo do corpo do texto do manual. Há também três manuais (A, E e G) que possuem atividades consideradas facultativas. Este aspeto revela-se positivo uma vez que as atividades consideradas prioritárias são as que mais frequentemente são realizadas pelos alunos, quer nas aulas de ciências, quer como trabalho de casa. As atividades facultativas, porque surgem geralmente no fim de cada capítulo do manual são muitas vezes esquecidas devido à falta de tempo para a realização de todas as atividades, sendo geralmente realizadas pelos alunos fora das aulas durante o estudo para os momentos de avaliação.

Quanto à tipologia das atividades (tabela 3.6.) verificou-se que os manuais analisados apenas possuem atividades de leitura guiada, não se tendo encontrado nenhuma atividade de outro tipo. A figura 3.12. é um exemplo de uma atividade prioritária e de leitura guiada.

Quais os efeitos de alguns dos sismos históricos em Portugal?

Doc. 1 O grande terramoto de Lisboa de 1 de novembro de 1755 foi o maior sismo ocorrido em Portugal.


O terramoto começou pouco depois das nove e meia da manhã e demorou, “segundo as mais reguladas opiniões”, cerca de sete minutos. Ao segundo minuto começaram os edifícios a ruir com grande estrondo, causando uma poeira densa que obscureceu a luz solar e quase sufocou os sobreviventes.

O número de mortos na cidade de Lisboa “seria o número de doze até quinze mil”.

Os danos causados diretamente pelo terramoto foram agravados pelo fogo, que dos fogões das casas se propagou aos madeiramentos.

“De repente ouvi um clamor geral: o mar está a subir, vamos todos morrer! Ao escutar isto, dirigi o olhar para o rio, que naquele lugar tem uns seis ou oito quilómetros de largura, pude observá-lo a ondear e a elevar-se de uma maneira inexplicável, pois não havia a mais leve brisa. De repente apareceu a uma pequena distância uma enorme massa de água a erguer-se como uma montanha, aproximando-se espumando e rugindo, precipitando-se em direção à terra tão impetuosamente que muitos foram arrastados para o largo.”

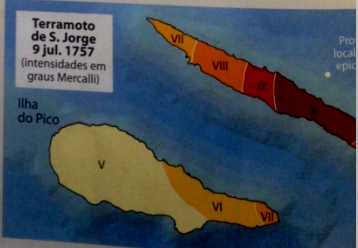
João Duarte Fonseca, 1755: *O Terramoto de Lisboa*



Terramoto de Lisboa 1 nov. 1755
(intensidades em graus Mercalli)

Carta de isossistas do terramoto de Lisboa. A isossista é uma linha que une os pontos onde o sismo é sentido com igual intensidade.

Doc. 2 O grande sismo que abalou a ilha de S. Jorge, em 1757, foi um dos maiores sismos de que há memória nos Açores. Causou a destruição total da ilha de S. Jorge e os danos estenderam-se a toda a ilha do Pico. Foi gerado um tsunami que afetou as ilhas Terceira, Graciosa e Faial.



Terramoto de S. Jorge 9 jul. 1757
(intensidades em graus Mercalli)

Carta de isossistas do terramoto de 1757 de São Jorge, nos Açores, no dia 9 de julho.

Questões

1 Doc. 1

- 1.1. Localiza geograficamente o provável epicentro do sismo.
- 1.2. Transcreve dois efeitos do sismo.
- 1.3. Qual foi a intensidade do sismo em Lisboa?

2 Doc. 1 e Doc. 2

- 2.1. O que são isossistas?
- 2.2. Como explicas a linha tracejada de isossistas no oceano?
- 2.3. Procura, na página 129, os efeitos do sismo na ilha de S. Jorge. Transcreve dois dos danos mais graves.

Figura 3.12. Exemplo de atividade de História da Ciência prioritária e de leitura guiada (manual B, pp.130 – 131).

3.1.6. Conclusão

No final deste trabalho e através dos resultados obtidos, as autoras consideraram ser possível formular algumas considerações sobre os manuais alvo da análise. Em termos globais, os dados revelam a presença de elementos de História da Ciência nos manuais escolares de ciências naturais do 7.º ano do ensino básico português. Contudo, uma análise mais detalhada coloca em evidência o facto de na maior parte das situações os conteúdos históricos serem apresentados na forma de informação com carácter essencialmente descritivo, atribuindo-se excessivo valor a simples dados biográficos,

sem destacar a importância, que nas diferentes épocas, assumiram as observações/experiências realizadas e/ou os modelos e teorias propostos.

Todas as informações e os episódios históricos relatados são pouco valorizados nos manuais, sendo-lhes dada pouca ênfase no sentido de estimular a promoção da aprendizagem da natureza da ciência, e no auxílio na aprendizagem dos conteúdos científicos, como a sismologia.

Desta forma, as autoras alertam para a necessidade de reforçar a abordagem da História da Ciência nos manuais escolares, não só pela sua importância como estratégia de ensino que permite aos alunos compreenderem a natureza da ciência, mas também por suscitar nos alunos o interesse e a curiosidade pela ciência, no sentido em que ao apresentar alguns episódios históricos, permite que eles desenvolvam o seu interesse pela ciência, auxiliando o seu processo de construção do conhecimento científico. Esta abordagem histórica permite que os estudantes desenvolvam a capacidade de reconhecer e interpretar episódios de evolução teórica no decurso da história, através da análise de diversas situações. Além disso, sensibiliza-os para a importância da contextualização da informação histórica, contemplando os inúmeros aspetos socioeconómicos, políticos, religiosos que influenciam a prática científica, de forma a compreenderem como evoluiu o conhecimento científico e o porquê dessa evolução.

Por outro lado, o contributo da História da Ciência para a compreensão do desenvolvimento da sismologia enquanto ciência é fundamental pois permite que os alunos entendam como evoluiu, conheçam os cientistas que intervieram neste processo e o seu contributo, quer a nível teórico como técnico, destacando-se os instrumentos que foram sendo desenvolvidos e a sua importância no aperfeiçoamento das técnicas de deteção sísmica. A História da Ciência assume um papel especialmente preponderante ao nível da sismologia por se tratar de uma ciência estreitamente relacionada com o bem-estar e segurança das populações. Enfatiza-se por isso a necessidade do conhecimento da sua história pelos alunos, enquanto futuros cidadãos intervenientes, para se tornarem mais informados e compreenderem melhor como ocorrem os sismos e que medidas de prevenção devem ser adotadas.

Agradecimentos

A elaboração deste trabalho foi suportada pelo projeto PEstOE/CTE/UI0039/2014, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT).

3.1.7. Referências bibliográficas

- Bardin, L. (1977). *Análise de conteúdo*. Lisboa: edições 70.
- Brush, S. (2000). Thomas Kuhn as a historian of science. *Science & Education*, 9, 39–58.
- Carneiro, M. H. S. & Gastal, M. L. (2005). História e Filosofia das Ciências no Ensino de Biologia. *Ciência e Educação*, 11 (1), 33-39.
- Dewey, J. & Byerly, P. (1969). The Early History of Seismometry (to 1900). *Bulletin of the Seismological Society of America*. 59 (1), 183-227.
- Forato, T. C. M; Martins, R. A. & Pietrocola, M. (2012). History and Nature of Science in High School: Building Up Parameters to Guide Educational Materials and Strategies. *Science & Education*, 21, 657 – 682.
- Fréchet, J. & Rivera, L. (2012). Horizontal pendulum development and the legacy of Ernst von Rebeur-Paschwitz. *Journal of Seismology*, 16 (2), 315–343.
- Hacieminoglu, E. (2014). How In-service Science Teachers Integrate History and Nature of Science in Elementary Science Courses. *Educational Sciences: Theory & Practice*, 14 (1), 353-372.
- Instituto Nacional de Prevención Sísmica (in press). Pioneros de la Sismología. 16 p. Acedido em <http://www.inpres.gov.ar/docentes/Pioneros%20de%20la%20sismolog%C3%ADa.pdf> [10/11/2014].
- Lay, T. & Wallace, T. C. (1995). *Modern Global Seismology*. California: Academic Press.
- Leite, L. (1986). *Teaching Science Through History*, Unpublished Master Dissertation, University of London, London.
- Leite, L. (2002). History of Science in Science Education: Development and Validation of a Checklist for Analysing the Historical Content of Science Textbooks. *Science & Education*, 11, 333-359.
- Lind, G. (1980). Models in Physics: Some Pedagogical Reflections Based on the History of Science. *European Journal of Science Education*, 2 (1), 15–23.
- Lombardi, O. (1997). La Pertinencia de la Historia en la Enseñanza de las Ciencias: Argumentos e Contraargumentos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (3), 343-349.

- Martins, A. F. P. (2007). História e Filosofia da Ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho... *Cadernos Brasileiros de Ensino de Física*, 24 (1), 112- 131.
- Matthews, M.R. (1994). *A role for History and Philosophy in Science Teaching*. London: Routledge.
- Pereira, A. I. & Amador, F. (2007). A História da Ciência em manuais escolares de Ciências da Natureza. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1), 191-216.
- Prestes, M. E. B. & Caldeira, A. M. A. (2009). Introdução. A importância da história da ciência na educação científica. *Filosofia e História da Biologia*, 4, 1-16.
- Rebelo, F. (2012). Breve História da Sismologia. Casa das Ciências. Acedido em http://issuu.com/casadasciencias/docs/10__ano-ppt-reve_hist_ria_da_sismologia [28/10/2014].
- Reid, H.F. (1910). *The Mechanics of the Earthquake: The California Earthquake of April 18, 1906, Report of the State Investigation Commission*, Vol.2, Washington D. C.: Carnegie Institution of Washington, pp. 16-28.
- Reitherman, R. (2014). Earthquake Mythology. *2014 CUREE Calendar*, 18 p.
- Seker, H. (2011). A Facilitator Model for the Use of History of Science in Science Teaching. *Journal of Turkish Science Education*, 8 (3), 59-68.
- Shearer, P. M. (1999). *Introduction to seismology*. Cambridge: University Press. 260 p.
- Walker, B. (1990). *Os terremotos*. Resomnia Editores. 176 p.
- Wood, R. M. (1998). *Sismos e vulcões*. Círculo de Leitores, 160 p.

3.2.

John Milne, the man who mapped the shaking earth: Vida e obra de um dos pioneiros da sismologia

Sara Moutinho, Joana Faria & Clara Vasconcelos

1º Encontro de História da Ciência no Ensino, pp. 50-60,
Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

3.2.1. Resumo

O recurso à História da Ciência permite desenvolver uma visão mais ampla das descobertas científicas e perceber a sua influência no quotidiano. Atendendo às exigências das metas curriculares, esta abordagem assume especial importância quando aplicada na exploração de temáticas de sismologia, ciência com um grande impacto na sociedade. Desta forma, é fundamental analisar o contributo dos investigadores que se dedicaram ao estudo desta ciência, destacando-se o trabalho de John Milne (1849-1913), um geólogo e engenheiro de minas inglês que dedicou grande parte do seu trabalho ao estudo dos sismos e ao aperfeiçoamento de instrumentos de deteção sísmica. Neste trabalho são apresentados alguns factos importantes da vida e obra de John Milne através da análise documental da obra de Paul Kabrna, intitulada *John Milne: the man who mapped the shaking earth*, com o objetivo de compreender a importância do seu trabalho na evolução da sismologia. Paul Kabrna relata alguns dos fatores que o influenciaram, desde a infância e o tempo da escola onde se mostrou sempre um aluno curioso, empenhado e trabalhador, até ao seu cargo de professor de geologia no Colégio Imperial de Engenharia de Tóquio. É dada especial importância às suas experiências enquanto professor de geologia por lhe terem permitido contactar com investigadores que se debruçavam sobre o estudo dos sismos, e com os quais

colaborou na construção de um dos primeiros sismógrafos de que há registo. Em 1889, desenvolveu o aparelho que ficou conhecido como o sismógrafo de Milne, um instrumento de análise das vibrações dos edifícios durante um abalo sísmico. Assim, ao enfatizar-se a importância dos trabalhos de Milne é possível entender as potencialidades da História da Ciência como estratégia de ensino para o desenvolvimento de uma correta visão de ciência.

Palavras-chave

Análise documental, História da Ciência, John Milne, sismógrafo, sismologia.

3.2.2. Introdução

Atualmente reconhece-se a importância da História da Ciência (HC) no ensino pelo auxílio que presta na construção de uma imagem adequada da ciência, permitindo desenvolver uma visão mais ampla das descobertas científicas e perceber a sua influência no quotidiano. Desta forma defende-se que a HC ajuda os alunos a adquirir uma imagem adequada da Natureza da Ciência (NdC) (Forato, Martins & Pietrocola, 2012), oferecendo-lhes a oportunidade de compreender não só que o conhecimento científico é provisório e incerto, mas também que a ciência não é totalmente objetiva nem possui verdades absolutas (Lind, 1980). O recurso à HC auxilia a aprendizagem dos conceitos científicos, promovendo um maior interesse e motivação dos estudantes, além de permitir que eles desenvolvam uma melhor atitude em relação à ciência e compreendam a sua relevância na sociedade (Hacieminoglu, 2014). Através desta abordagem os alunos podem perceber a influência da ciência na nossa maneira de viver, e como esta é influenciada por ela (Moutinho & Vasconcelos, 2014).

A HC pelo exame que faz da vida e da época dos investigadores individuais, permite-nos perceber que humaniza a matéria científica, tornando-a menos abstrata e mais interessante para os alunos (Mathews, 2015) permitindo o estabelecimento de conexões dentro de tópicos e disciplinas científicas, bem como com outras disciplinas académicas. Assim se justifica a importância de analisar a vida e obra dos cientistas

que tiveram um papel preponderante na história, neste caso na história da sismologia.

O principal objetivo deste trabalho é dar a conhecer alguns episódios importantes da vida de John Milne e a sua influência no desenvolvimento da sismologia, pelo seu contributo no aperfeiçoamento de instrumentos de registo sísmico, mais propriamente o famoso sismógrafo de Milne.

O levantamento destes factos será feito através da análise documental da obra de Paul Kabrna, *John Milne: the man who mapped the shaking earth*. Esta obra constitui uma das biografias de John Milne, publicada em 2007, onde são destacados alguns dos períodos mais marcantes da vida do Geólogo, desde a sua infância, as viagens que realizou, a temporada em que viveu e lecionou no Japão, e o período após o seu regresso, sempre com o cuidado de enfatizar as suas descobertas mais importantes em cada período e a sua influência para o desenvolvimento da ciência.

3.2.3. Metodologia

Tendo em conta o carácter exploratório deste trabalho, recorreu-se à análise documental como metodologia, que consiste no uso de fontes documentais na investigação (Mogalakwe, 2006). Geralmente os métodos de análise documental são erradamente associados aos trabalhos dos historiadores e bibliotecários, reduzindo a sua utilização apenas como complemento de informação recolhida através de questionários e entrevistas. A ferramenta principal desta metodologia são os documentos, artefactos produzidos por indivíduos e grupos no decurso das suas práticas quotidianas, voltados exclusivamente para as suas próprias necessidades práticas imediatas (Mogalakwe, 2006). Os princípios gerais da manipulação das fontes documentais são semelhantes aos das outras áreas de investigação. Em todos os casos, os dados devem ser manuseados cientificamente, apesar de cada fonte requerer uma abordagem diferente. Scott (1990) definiu alguns critérios de controlo de qualidade para a manipulação das fontes documentais, são eles: a autenticidade, a credibilidade, a representatividade e o significado.

Neste estudo procedeu-se à análise documental da obra de Paul Kabrna - *John Milne: the man who mapped the shaking earth*, procurando-se apresentar de forma

simples e clara, aspetos importantes e marcantes da vida do cientista, enfatizando a importância do seu trabalho na evolução da sismologia. Alguns desses marcos são apresentados de seguida, distribuídos por várias secções que correspondem a alguns dos capítulos mais importantes do livro.

3.2.4. Resultados

John Milne (figura 3.13.) nasceu a 30 de dezembro de 1850 em Mount Vernon, em Liverpool, filho de John Milne e Emma Twycross. Passou os seus primeiros meses de vida em Rochdale, cidade natal da sua família, mudando-se novamente para Liverpool com os seus pais, onde passou a infância e os anos iniciais da escola. Sempre se mostrou um aluno interessado, curioso e empenhado, tendo ganho vários prémios ao longo do seu percurso académico (International Seismological Centre, s.d.). O dinheiro que foi amealhando com estes prémios foi usado em viagens que realizou por conta própria, por serem do seu interesse pessoal (Encyclopedia of World Biography, 2008).



Figura 3.13. John Milne (1850 – 1913) (Adaptado de www.mix-d.org, consultado em março de 2015).

Com dezassete anos começou a estudar no Departamento de Ciências Aplicadas do Kings College, onde frequentou um conjunto variado de disciplinas, incluindo Geologia, Matemática, Mecânica e Mineralogia, e com o decorrer da sua formação começou a demonstrar interesse pelas disciplinas de Geologia e Mineralogia. Milne completou os seus estudos com 23 anos de idade e começou a procurar emprego. Numa primeira fase, trabalhou como engenheiro de minas, e fez muitas viagens, incluindo excursões à Islândia e à Península de Sinai (Kabrna, 2007).

Todas estas viagens foram muito importantes na sua formação, pois permitiram-lhe compreender quais as suas áreas de interesse, nomeadamente os fenómenos e as situações de risco.

3.2.4.1. A Terra do Sol Nascente

Em 1867, Mutsuhito tornou-se imperador do Japão tendo adotado o nome de Meiji, que significa *regra iluminada* (*enlightened rule*), tendo sucedido ao seu pai o Imperador Komei. Ao assumir a liderança do Japão, uma das suas principais preocupações foi a procura internacional de conhecimento para fortalecer e enaltecer o império. Neste sentido, foram contratados vários investigadores de outros países para exercerem funções em várias áreas, visando promover o desenvolvimento social, político e financeiro da nação. Para acolher os novos investigadores e especialistas contratados, o governo fundou o Colégio Imperial de Engenharia de Tóquio, em 1873 (International Seismological Centre, s.d.). Foi nesta altura que Milne foi contratado para exercer funções de professor de engenharia no Japão, em 1876. O contrato que assinou era bastante restritivo quanto às funções que iria exercer: apenas estava autorizado a utilizar material técnico, e não lhe era permitido investir o seu dinheiro nas minas do império independentemente de estarem desativadas, operacionais ou em fase de projeção. O seu contrato incluía ainda alojamento numa habitação que lhe foi atribuída, chamada *Yama Guchi*, que significava Boca da Montanha (Kabrna, 2007). Na primeira noite que passou na sua nova habitação foi sacudido para fora da cama por um abalo do solo. Sentia, assim, um sismo pela primeira vez (Musson, 2013).

O horário de Milne era bastante completo, lecionava as disciplinas de arquitetura, química e metalúrgica das 06:00 às 16:00, e das 18:00 às 22:00 todos os docentes participavam em sessões de estudo, corrigiam os trabalhos dos alunos, preparavam as aulas do dia seguinte e assistiam a reuniões onde era discutido o desenvolvimento de novos cursos. Apesar de viver no Japão, como a maioria do corpo docente do Colégio Imperial era britânico, as aulas eram lecionadas em inglês, o que facilitou a adaptação de Milne ao novo país, além do apoio que recebeu de John Perry (1850-1920), um professor de engenharia irlandês que o acompanhou no início da sua estadia no Japão (Kabrna, 2007).

Durante o ano de 1877, John Milne começou a participar em algumas investigações de campo relacionadas com o estudo dos vulcões japoneses, e o seu trabalho passava por fazer a descrição completa de cada vulcão em estudo,

independentemente de estar ativo ou inativo. Essa descrição incluía o registo de todas as características do vulcão e esboços que eram elaborados meticulosamente para recriarem fielmente o aparelho vulcânico (Encyclopedia of World Biography, 2008).

3.2.4.2. Milne, o sismólogo

Quando Milne chegou ao Japão, a investigação sobre os sismos estava no início, e segundo Kabrna (2007) o primeiro trabalho de investigação desenvolvido nesta área foi levado a cabo por I. Hattori e Edmund Nauman, em 1878.

Por esta altura, John Milne estava concentrado nas suas funções de docente, e na escrita das suas notas sobre as viagens que realizou noutros países e na conclusão do manuscrito do seu primeiro livro intitulado *Crystallography*. Contudo, devido à frequência deste fenómeno no Japão, os sismos passaram a ser alvo de interesse do geólogo, que participou em várias discussões sobre este tema com outros colegas tendo dado um contributo importante nestes debates devido aos seus conhecimentos sobre geologia (Kabrna, 2007).

Nesta altura, eram conhecidas algumas teorias/lendas sobre a origem dos sismos, como a teoria formulada por Aristóteles (384-322 d.C), que defendia que os terramotos ocorriam quando os ventos exteriores sopravam dentro da Terra, onde acumulavam a força suficiente para fazer estremecer o solo (Walker, 1990). Também no Japão existia a crença de que a origem dos terramotos se devia ao *Namazu*, um peixe-gato gigante que vivia por baixo da Terra e a suportava, evitando que afundasse no oceano, e quando o *Namazu* se contorcia fazia com que a terra tremesse, ocorrendo um terramoto (Reitherman, 2014).

Também nesta altura, havia já conhecimento de aparelhos de registo sísmico, como o sismoscópio desenvolvido por Zhang Hêng (78-139 d.C.) em 132 d.C. (Dewey & Byerly, 1969). Portanto, a sismologia estava em período de ascensão, período esse que se iniciou após o terramoto de Lisboa de 1755, devido aos trabalhos de investigação para a reconstrução da cidade. Contudo, os progressos significativos na investigação em sismologia ocorreram em meados do século XIX, onde se destacaram alguns nomes importantes por todo o mundo, como De Rossi e Mercalli em Itália, Seebach na Alemanha, Suess e Hoernes na Áustria, Montessus em França e Dutton nos Estados Unidos da América (Kabrna, 2007). Para além destes há ainda três investigadores que tiveram um papel importante no desenvolvimento da sismologia, Robert Mallet, Luigi

Palmieri e Filippo Cecchi. O primeiro era admirado por Milne devido ao trabalho que desenvolveu sobre o sismo de Nápoles de 1857, em que através dos seus registos fez o mapeamento das zonas ao longo do Mediterrâneo em função do seu grau de degradação (Wood, 1998).

Kabrna (2007) refere que Luigi Palmieri desenvolveu um sismoscópio com três componentes, que conseguia registar sismos que não eram sentidos pelas pessoas. Este aparelho era tão inovador que foi usado durante vários anos no Japão para a detecção dos sismos, até ser substituído pelo sismógrafo desenvolvido por Milne e Gray. Filippo Cecchi construiu também um sismógrafo antes de Palmieri, que foi instalado em vários observatórios, mas a insensibilidade do aparelho fez com que outros investigadores perdessem o interesse neste estudo.

Em relação a estes aparelhos, John Milne defendia que *a boa instrumentação é a chave para o problema e o caminho que devemos seguir* (Kabrna, 2007, p. 51). Milne considerava que os sismoscópios tinham um valor limitado e aquilo que na verdade era importante e necessário para os investigadores era um instrumento que registasse o movimento do solo durante um sismo, em particular a frequência, a amplitude, a extensão e direção das ondas e o momento exato em que ocorriam. Por isso, começou a contactar com colegas que se dedicavam ao estudo dos sismos para trocar impressões e discutir algumas questões. Contudo, o momento que marcou a transição do seu foco de estudo foi aquando da ocorrência do sismo de Tóquio/Yokohama, a 22 de fevereiro de 1880 (Kabrna, 2007). Milne descreveu exaustivamente o abalo e os efeitos que causou nas habitações, e através de dois pêndulos experimentais que tinha em casa conseguiu determinar a direção aproximada do abalo. Após o abalo, os registos de Milne foram divulgados e foi-lhe pedido que reunisse informação sobre a quantidade de sismos que ocorriam no Japão por ano, tendo-se verificado que a frequência era de 3 a 4 sismos por dia. Estes resultados comprovaram que a boa instrumentação sísmica é de facto a chave para que sejam feitos progressos significativos (Kabrna, 2007).

Graças a todas estas descobertas foi fundada a Sociedade Sismológica do Japão, em 1880, onde vários especialistas eram convidados a partilhar o seu conhecimento sobre este fenómeno, e Milne foi convidado para assumir o cargo de presidente da sociedade, e recusou. A partir desta altura, o cientista passou a dedicar grande parte da sua vida ao estudo dos sismos, tendo dedicado 33 anos ao estudo deste fenómeno (International Seismological Centre. s.d.). O primeiro sismógrafo construído por Milne, em colaboração com Ewing, Gray e Sekiya consistia num pêndulo com movimento livre que possuía na ponta uma agulha que riscava um papel colocado num tambor, escurecido com fumo negro. Quando ocorria um sismo, o abalo fazia o pêndulo oscilar

e o papel era riscado. Através deste registo, Milne explicava que informações podiam ser recolhidas: *a duração do sismo é determinada através do comprimento do registo no papel fumado e a natureza e o período do movimento é determindo através das curvas desenhadas no papel* (Kabrna, 2007, p. 55).

Durante os primeiros 12 anos de existência da Sociedade Sismológica do Japão, Milne concentrou-se essencialmente na localização dos sismos, e mais tarde, entre 1892 e 1895, passou a interessar-se também pelos sismos que ocorriam a grandes distâncias e no aperfeiçoamento dos sismógrafos, fazendo vários estudos sobre sismógrafos de pêndulos horizontais, sempre com o apoio e colaboração de James Ewing e Thomas Gray (figura 3.14.) (Encyclopedia of World Biography, 2008; Musson, 2013). De facto, foi graças a esta colaboração que os três cientistas conseguiram obter os primeiros registos do movimento do solo em função do tempo. Também perceberam que estes registos podiam dar informações sobre a natureza do movimento do sismo, porque permitiam estudar a propagação das ondas sísmicas e qual o efeito que o solo sofria.

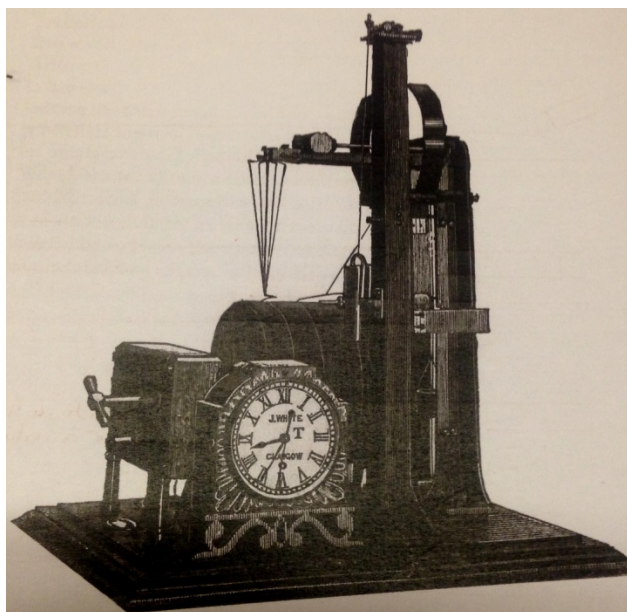


Figura 3.14. Sismógrafo de Gray-Milne (Adaptado: Kabrna, 2007, p. 56).

Durante vários anos, Milne centrou o seu trabalho no registo dos sismos e nos instrumentos de deteção, tendo proposto a criação da primeira rede de sismógrafos distribuídos por todo o planeta, e também da formulação de algumas medidas de prevenção sísmica. No entanto, John Milne não ficou conhecido apenas pelos seus estudos sobre sismologia, mas também pela construção de uma das primeiras mesas vibratórias, no Japão, no final do século XIX (1890), com a colaboração de alguns dos

seus colegas japoneses. O dispositivo (figura 3.15.) consistia num aparelho manual que produzia um movimento oscilatório de uma placa por meio de uma barra ligada de forma excêntrica a uma roda de tração manual (Svern, 2011).

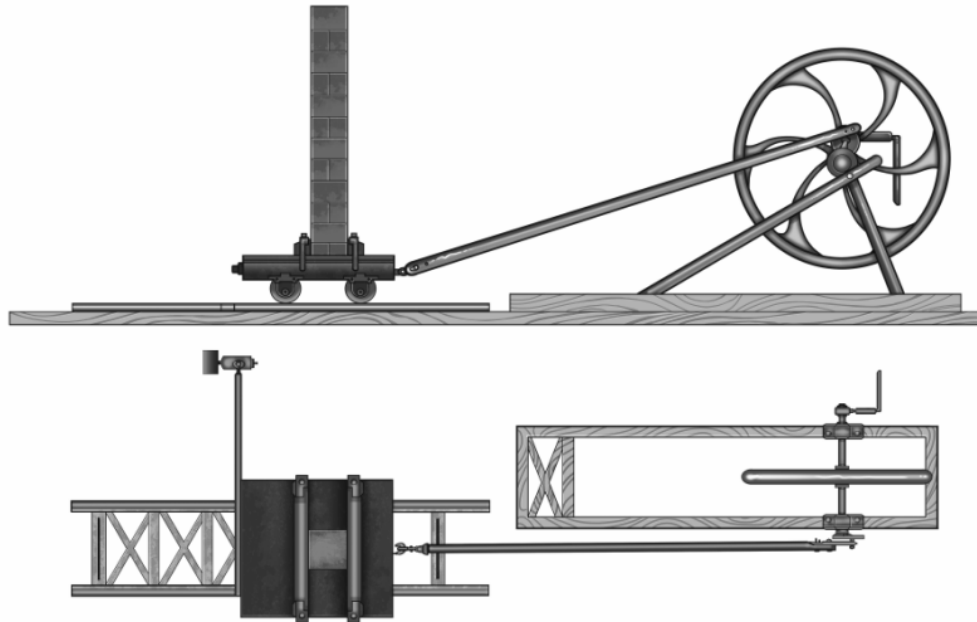


Figura 3.15. Mesa sísmica de Milne-Omar (1890). (Crédito: Ana Freitas, 2015)

Milne viveu no Japão durante quase vinte anos, sempre de forma tranquila até que, em 1895, a sua família sofreu um contratempo devastador, a casa e o observatório onde habitava com a esposa ardeu misteriosamente, e foi nessa altura que Milne decidiu voltar para Inglaterra (Kabrna, 2007).

3.2.4.3. A Ilha de Wight

John Milne e a esposa, Toné Milne, chegaram a Inglaterra em julho de 1895 e começaram a procurar uma habitação que satisfizesse os seus desejos, isto é, que tivesse terrenos suficientes em redor da casa, e características geológicas favoráveis à construção de um observatório sismológico, que Milne pretendia criar. Acabaram por se instalar em Side Hill House, na Ilha de Wight, embora a adaptação não tenha sido fácil, principalmente para a sua esposa (Kabrna, 2007). Felizmente tiveram o apoio de quatro vizinhos que se tornaram grandes amigos de Milne, eram eles William Bullock, Sam

Pring, Howard Burgess e Johnny Walker. A filha de Sam Pring, Lady Maybury referia-se a Milne como “... um homem genial e amável, extremamente popular graças ao seu humor e alegria de viver, e à sua capacidade de comunicar com as pessoas. Não havia ninguém que tivesse trabalho com ele que não lhe fosse devoto e que não nutrisse por ele uma grande amizade” (Kabrna, 2007, p. 83).

Durante o tempo de viveu na Ilha de Wight, Milne continuou a colaborar com vários investigadores nomeadamente John Johnson Shaw, com o qual construiu o sismógrafo de Milne-Shaw, em 1913, que se tornou o aparelho de registo sísmico *standard*, sendo usado durante um longo período de tempo em várias estações sismológicas (Encyclopedia of World Biography, 2008). Também recebia várias visitas de amigos do Japão, que eram muito bem recebidos, principalmente porque a sua esposa fazia questão de recolher bem os seus compatriotas.

No entanto, ao longo do tempo a saúde de John Milne foi-se deteriorando. O cientista sofria da doença de Bright, uma doença do fígado, que o confinou a uma cama em meados de julho de 1913, acabando por falecer no dia 31 de julho do mesmo ano, com 62 anos de idade (International Seismological Centre, s.d.).

A notícia da sua morte correu mundo, até chegar ao Japão, onde o Imperador enviou até Inglaterra um representante e uma menina pequena para entregar pessoalmente um ramo de flores à viúva, onde se lia: “*Para o querido tio John dos sismos*”. Além desta, Toné Milne recebeu muitas cartas e telegramas com condolências pela sua perda. Algum tempo após a morte de Milne, alguns cientistas do Comité Britânico da Associação Sismológica dedicaram-se à preservação do seu observatório, mas por questões económicas, decidiram transferi-lo da Ilha de Wight para Oxford, em 1919. Depois disso, Toné Milne não teve mais motivos para continuar em Inglaterra, tendo regressado ao Japão.

De John Milne permaneceram as lembranças e o vasto legado que deixou, não só todos os instrumentos de registo sísmico que desenvolveu e todas as descobertas que fez na área da sismologia mas também todas as associações e comissões que ajudou a fundar, e que se dedicavam ao estudo destes fenómenos. Todos estes contributos e toda a sua devoção a esta ciência fizeram com que ficasse conhecido como o *Pai da Sismologia Moderna* (Kabrna, 2007).

3.2.5. Conclusões

Com este trabalho se destaca a importância dos trabalhos de Milne para o desenvolvimento dos instrumentos de registo sísmico, e obviamente para a evolução da sismologia como ciência. Milne é ainda hoje reconhecido como um dos pioneiros da sismologia, não só pelo seu interesse nestes fenómenos, mas pela sua análise crítica e dogmática sobre todas as descobertas e invenções que foram sendo desenvolvidas por outros cientistas.

Também se destaca o papel da análise documental como metodologia fundamental nos trabalhos relacionados com a História da Ciência, pois fornece as indicações e orientações necessárias para a exploração dos documentos que constituem as fontes bibliográficas de onde são retiradas as informações que nos permitem compreender e explorar a História da Ciência. Valoriza-se por isso a análise documental como recurso à exploração da História da Ciência, e defende-se a sua aplicação ao nível de trabalhos de investigação.

3.2.6. Referências bibliográficas

- Dewey, J. & Byerly, P. (1969). The Early History of Seismometry (to 1900). *Bulletin of the Seismological Society of America*. 59(1), 183-227.
- Encyclopedia of World Biography (2008). John Milne. Disponível em http://www.encyclopedia.com/topic/John_Milne.aspx, acedido a 15 de maio de 2015.
- Forato, T. C. M; Martins, R. A. & Pietrocola, M. (2012). History and Nature of Science in High School: Building Up Parameters to Guide Educational Materials and Strategies. *Science & Education*, 21, 657–682.
- Hacieminoglu, E. (2014). How In-service Science Teachers Integrate History and Nature of Science in Elementary Science Courses. *Educational Sciences: Theory & Practice*, 14(1), 353-372.

- International Seismological Centre (s.d.). John Milne. Disponível em <http://www.isc.ac.uk/about/history/milne/>, acessado a 10 de maio de 2015.
- Kabrnarn, P. (2007). *John Milne the man who mapped the shaking earth*, Craven & Pendle Geological Society.
- Lind, G. (1980). Models in Physics: Some Pedagogical Reflections Based on the History of Science. *European Journal of Science Education*, 2(1), 15–23.
- Matthews, M.R. (2015). *Science Teaching. The Contribution of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge.
- Mogalakwe, M. (2006). The Use of Documentary Research Methods in Social Research. *African Sociological Review*, 10 (1), 221-230.
- Moutinho, S; Vasconcelos, C. (2014). História da Ciência em manuais escolares: os sismógrafos e o desenvolvimento da sismologia. *E-book do colóquio II de História das Ciências para o Ensino*. Coimbra: Universidade de Coimbra, 145-169.
- Musson, R. M. W. (2013). A history of British seismology. *Bull Earthquake Eng*, 11, 715–861.
- Reitherman, R. (2014). Earthquake Mythology. *2014 CUREE Calendar*.
- Scott, J., 1990, *A Matter of Record, Documentary Sources in Social Research*, Cambridge: Polity Press.
- Svern, R. T. (2011). The development of shaking tables—A historical note, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 40, 195-213.
- Walker, B. (1990). *Os terremotos*. Resomnia Editores.
- Wood, R. M. (1998). *Sismos e vulcões*. Círculo de Leitores.

4.

RECURSO À MODELAÇÃO NO ENSINO SUPERIOR PORTUGUÊS

4.1.

O recurso à Modelação no Ensino Superior: O caso dos Riscos Naturais

Sara Moutinho, Rui Moura & Clara Vasconcelos

Terrae Didactica, 12(2), pp. 118-125.

4.1.1. Resumo

O recurso à modelação, como metodologia de ensino é relevante no processo de recriação e simulação de fenómenos naturais, nomeadamente fenómenos geológicos e ambientais. Pretendendo-se verificar se o recurso à modelação é uma metodologia significativa no sucesso das aprendizagens dos estudantes de riscos naturais do ensino superior, foram analisadas as fichas das unidades curriculares que abordam temáticas de riscos naturais nas universidades públicas portuguesas, tendo-se optado por seleccionar apenas unidades curriculares do primeiro ciclo de estudos - licenciatura. No total foram analisadas, com recurso a uma grelha de análise, oito fichas de unidades curriculares, ministradas em sete universidades públicas portuguesas. As evidências encontradas indicam que nenhum dos documentos em análise contempla a utilização da modelação como metodologia de ensino de temáticas de riscos naturais, predominando um ensino essencialmente tradicional, sobressaindo a necessidade de intervenção ao nível das metodologias de ensino valorizando-se o papel da modelação no ensino superior.

Palavras-chave

Modelação; Ensino Superior; Riscos Naturais; Fichas das Unidades Curriculares.

The use of Modelling in Higher Education: The case of Natural Hazards

4.1.2. Abstract

The use of modelling as methodology to aid the construction of mental models is very important in the process of recreation and simulation of natural phenomena, in particular geological and environmental phenomena. Intending to check whether the use of modelling is a significant methodology in the success of student learning of natural hazards in higher education, we begin our study including all syllabus that address issues of natural hazards in Portuguese universities, having decided to select only the graduation syllabus. In this study were analyzed eight graduation syllabuses, through an analysis instrument, conducted in seven Portuguese universities. The evidences can be concluded that none of the syllabus in this analysis refers the use of modeling as a teaching strategy of natural hazards subjects, predominantly an essentially traditional, standing the need for intervention at the level of teaching methodologies valuing the role of models and modeling in higher education.

Keywords

Modelling; University Education; Natural Hazards; Syllabus.

4.1.3. Introdução

A psicologia cognitiva é uma disciplina fundamental ao nível da educação em ciências, pois tem dado grandes contributos para a compreensão do processo de aprendizagem, não havendo dúvidas quanto à sua importância e o seu papel ao nível dos estudos relacionados com a educação (Greca e Moreira 2000). Atualmente defende-se que o ensino das ciências deve potenciar uma aprendizagem significativa, considerando-se fundamental o recurso a metodologias que promovam o desenvolvimento do conhecimento científico dos estudantes. A escola é vista como um lugar de aprendizagem, ou seja, de mudanças relativamente permanentes na conduta e no conhecimento dos sujeitos, como resultado da experiência e dos processos de associação e condicionamento (Alves 2014). A psicologia cognitiva explica que a forma como os sujeitos compreendem o mundo depende daquilo que nele existe e, daquilo que compõe a mente humana (Johnson-Laird 1983), admitindo-se que esta tem a capacidade de processar informação e interpretar o mundo através da manipulação de símbolos (Palmero 2008). Este processo resulta no desenvolvimento de modelos mentais dos sujeitos, que lhes permitem compreender o mundo em que vivem e dar resposta a situações do quotidiano com que são confrontados.

A modelação é uma metodologia que promove a aprendizagem dos conteúdos científicos através da construção e utilização de modelos, que recriam fenómenos físicos, permitindo desenvolver o conhecimento científico dos estudantes e a sua literacia científica (Gobert e Buckley 2000), aproximando o processo de aprendizagem dos sujeitos à forma como estes desenvolvem os seus conhecimentos de forma inata, ou seja, os modelos mentais. Esta metodologia promove o contacto dos estudantes com modelos, a sua manipulação e comparação com os seus modelos mentais. Desta forma, são geradas as condições necessárias para que se desenvolva uma aprendizagem significativa, através da reestruturação das estruturas cognitivas dos estudantes (Louca et al. 2011, Palmero 2008). No caso concreto do ensino das Geociências, a modelação apresenta-se como uma ferramenta fulcral pois, a recriação dos fenómenos geológicos através de modelos pode reduzir milhões de anos a algumas horas ou minutos (Bolacha et al. 2011, Deus et al. 2011), e permite recriar fenómenos que não são facilmente observáveis num contexto real, como é o caso dos riscos naturais. Assim, se os estudantes forem capazes de manipular, testar e avaliar os modelos, bem como as suas dinâmicas, poderão também aumentar o seu interesse e compreensão sobre as mudanças reais que ocorreram no curso da história da Terra (Deus et al. 2011).

Comprovada a sua importância e utilidade ao nível do ensino das ciências, pretende-se averiguar se a modelação é referida como uma metodologia utilizada no ensino superior para lecionar temáticas de riscos naturais. Este estudo constitui o ponto de partida para o desenvolvimento de um programa de intervenção, que será aplicado a estudantes do ensino superior português, com o objetivo de aplicar e testar vários tipos de modelos na leção de temáticas de riscos naturais. Para isso, foi feito o levantamento de todas as unidades curriculares do primeiro ciclo de estudos (licenciatura) que contemplam as temáticas supracitadas, tendo-se obtido uma amostra de oito unidades curriculares. Posteriormente foram analisadas as fichas das unidades curriculares que constituíam a amostra, de acordo com uma grelha de análise construída e validada para o efeito por três especialistas com experiência na docência do ensino superior. A elaboração da grelha de análise e a definição das categorias e subcategorias de análise foi feita tendo por base uma análise transversal dos conteúdos das várias fichas das unidades curriculares e síntese dos parâmetros/objetivos mais valorizados nas várias instituições do ensino superior.

4.1.4. Enquadramento teórico

4.1.4.1. Importância dos Modelos no processo de aprendizagem

Apesar de se reconhecer que a aprendizagem significativa desempenha um papel fulcral no ensino das ciências, em algumas instituições as teorias e modelos científicos ainda são ensinados como verdades, como definitivos e acabados. A literatura da especialidade refere que os alunos são construtores do seu próprio conhecimento e defende que os professores devem ser capazes de fazer a mediação necessária para a reconstrução interna dos conhecimentos científicos que são externamente construídos. Contudo, os conteúdos científicos não são apresentados aos estudantes como construções científicas. É certo que há vários educadores que promovem o ensino da ciência através de uma perspetiva científica, no entanto, atualmente ainda predomina o ensino tradicional, das teorias definitivas e acabadas (Moreira 2014).

O primeiro passo para o abandono desta corrente consiste em compreender como é que a mente humana se organiza, e como são gerados os conhecimentos dos sujeitos. É nesta perspetiva que surgem os modelos mentais, nos quais se reconhece elevada importância ao nível do desenvolvimento da aprendizagem significativa, pelo facto de auxiliarem o processo de representação do mundo real. Desta forma, importa esclarecer o que se entende por modelo mental, e distingui-los de outros tipos de modelos igualmente importantes no processo de desenvolvimento cognitivo dos estudantes.

O modelo mental é um modelo pessoal, desenvolvido pela mente humana para representar o mundo exterior (Moreira 1996), e que segundo Krapas, Queiroz e Colinviaux (1997), pode ser expresso de várias formas, como através de ações, da fala, da escrita e do desenho. Estes modelos são extremamente úteis e funcionais para os estudantes, que se socorrem deles para resolverem situações-problema, constituindo por isso o seu conhecimento prévio, embora sejam cientificamente inconsistentes (Greca e Moreira 2000).

Segundo a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird, os modelos mentais são análogos estruturais do mundo, e caracterizam-se por serem simples e representarem sempre entidades concretas (Johnson-Laird 1983). Por poderem ser reestruturados pelo sujeito à medida que contactam com outros modelos são dinâmicos e flexíveis, mas são também limitados, porque a sua construção e manipulação depende da memória de trabalho da mente humana (Palmero 2008). Em suma, são uma forma de representação analógica do conhecimento, uma vez que existe uma correspondência direta entre entidades e relações presentes na estrutura dessa representação, e as entidades e relações que se pretende representar (Moreira 2014).

Ao contrário dos modelos mentais, os modelos científicos resultam da criação específica dos cientistas para representar uma ideia, um objeto, acontecimento, processo ou sistema (Justi 2006). Por outras palavras, correspondem a modelos conceptuais cientificamente aceites, que traduzem a representação da forma de pensar dos cientistas. Como são geralmente complexos necessitam de simplificação a fim de poderem ser ensinados nas salas de aula de ciências. Estas simplificações são designadas por modelos curriculares. No fundo, estes modelos resultam de adaptações dos modelos científicos, que apesar de mais simples, porque representam apenas uma parte do fenómeno ou das variáveis em estudo, são cientificamente corretos porque têm origem nos modelos científicos.

No ensino das ciências, o professor pretende, através dos modelos curriculares, que os estudantes reestremem os seus modelos mentais, com vista a tornarem-se consistentes, e aproximarem-se, progressivamente, dos modelos científicos que,

recriam os fenómenos naturais. Assim se compreende que a mente humana opera não só através de modelos mentais, mas também através de modelos conceptuais e teóricos, que podem auxiliar a reestruturação dos modelos mentais, para que estes se tornem congruentes com o conhecimento aceite (modelo científico) numa determinada área científica (Moreira 2014).

Além dos modelos curriculares, Justi (2006) refere que é necessário que o professor recorra a modelos para o ensino, construídos com o propósito de ajudar os alunos a aprender alguns aspetos de um determinado modelo curricular, constituindo representações aproximadas de apenas uma parte da realidade. Estes modelos para o ensino são muito importantes pelo auxílio que prestam aos estudantes na compreensão dos modelos curriculares, ou seja, no seu processo de aprendizagem da ciência.

Não obstante a importância e a utilidade dos vários tipos de modelos, cabe aos docentes a difícil tarefa de adaptar e articular os modelos para o ensino com as temáticas a lecionar em sala de aula. Pelo exposto, facilmente se explica o papel fundamental que o professor possui no processo de aprendizagem, pois deve promover a evolução dos modelos mentais dos estudantes, tornando-os congruentes com o conhecimento científico. O processo de reestruturação dos modelos mentais dos estudantes deve ocorrer de forma natural e espontânea, através de metodologias que os levem a avaliar a importância dos modelos e a relacioná-los com o seu conhecimento prévio (Palmero 2008). Contudo, este processo pode mostrar-se extremamente difícil, devido a um conjunto de variáveis que podem intervir negativamente: (i) a dificuldade em observar o modelo que se pretende lecionar; (ii) os conflitos que podem surgir entre os modelos e a linguagem usada pelo professor e os modelos mentais dos estudantes; (iii) e os conceitos e o vocabulário que os estudantes reconhecem através do uso da linguagem natural, são alguns entraves à reestruturação dos seus modelos mentais (Clement 2000).

Além disso, ao contactar com os modelos curriculares em ambiente de sala de aula, os estudantes podem apresentar diferentes comportamentos: (i) tentar interpretá-los de acordo com o seu conhecimento prévio, ou seja, os seus modelos mentais, gerando modelos híbridos; (ii) tentar memorizá-los de forma descontextualizada, através de representações proposicionais internas soltas, resultando numa aprendizagem mecânica; (iii) ou reestruturar os seus modelos mentais tornando-os consistentes com os modelos curriculares (Greca e Moreira 2000).

4.1.4.2. Modelação no ensino das ciências (geociências)

Por se atribuir particular importância ao desenvolvimento cognitivo dos estudantes e à construção dos seus conhecimentos, é atribuída grande importância à modelação enquanto metodologia de ensino fundamental para explicar conceitos de ciência abstratos e não-observáveis (Treagust et al. 2002).

O uso de modelos e da modelação remonta ao século XIX, quando se começaram a reproduzir em laboratório alguns fenómenos geológicos (Brandstetter 2011, Graveleau et al. 2012). Nesta altura, o principal papel da modelação era facilitar a reprodução da evolução das causas e dos mecanismos dos processos geológicos (Graveleau et al. 2012), responsáveis pelas estruturas observadas na natureza. Assim, os modelos construídos permitiam aos cientistas desenvolver conhecimentos sobre os processos geológicos e as condições que levavam à sua ocorrência. Contudo, o recurso a esta metodologia foi largamente contestado, não só por questões de representatividade, mas também pelo facto de não conseguir comprovar a ocorrência de um fenómeno na natureza, apesar de demonstrar que uma causa proposta pode produzir um efeito observável (Torres e Vasconcelos 2014).

Posteriormente, a modelação começou a ser utilizada no ensino da Geologia, inicialmente para testar teorias e hipóteses (Brandstetter 2011). Ao ser reconhecida a sua elevada potencialidade como ferramenta auxiliadora do processo de construção do conhecimento (Barbosa 2009), ela passou a ser utilizada no ensino das ciências como metodologia de ensino. Desde então se defende o recurso à modelação nas aulas de ciências por se considerar que o processo de aprendizagem dos estudantes deve ser autónomo e dinâmico. Admite-se assim que os estudantes possuem o seu próprio modelo mental dos modelos curriculares, que podem ser cientificamente inconsistentes e dificultarem o processo de construção do conhecimento, ou até mesmo gerarem concepções alternativas (Treagust et al. 2002, Moutinho et al. 2013). Por isso, a modelação enquanto metodologia de ensino, desempenha um papel relevante na construção do conhecimento científico, na medida em que promove a compreensão da dinâmica dos processos naturais e as variáveis que nele intervêm (Bolacha et al. 2011). Além disso, auxilia o processo de reestruturação dos modelos mentais dos estudantes, procurando que se tornem mais consistentes com os modelos curriculares apresentados pelos professores.

Contudo, geralmente as instituições de ensino não promovem a relação entre a prática pedagógica e a proposta educativa, acabando por tratar os conteúdos científicos sem aprofundamento e proximidade da realidade dos alunos. Assim, torna-se urgente

contextualizar o ensino das ciências com metodologias que desafiem os estudantes, integrando-os no processo de ensino-aprendizagem de forma ativa, interativa e promovendo o questionamento (Alves 2014).

Reconhece-se elevada potencialidade no ensino suportado nesta metodologia, que possibilita não só a construção do conhecimento, mas também a promoção da literacia científica dos estudantes (Gobert e Buckley 2000), na medida em que permite *aprender ciência*, *aprender sobre ciência* e, *aprender como fazer ciência* (Justi e Gilbert 2002a).

Segundo Hodson (1992) *aprender ciência* implica entender as ideias desenvolvidas pela ciência, constituindo a aprendizagem dos conceitos propriamente ditos; *aprender sobre ciência* refere-se à compreensão das questões importantes da filosofia, história e metodologias da ciência, ou seja, diz respeito à compreensão dos processos que dão origem ao conhecimento científico; e *aprender como fazer ciência* refere-se à capacidade do sujeito para participar e realizar atividades que levam ao desenvolvimento do conhecimento científico, isto é, tornar-se parte ativa no processo de construção da ciência.

Um ensino baseado na modelação poderá ser uma das soluções para a reestruturação dos modelos mentais incongruentes com os modelos curriculares. Dada a exigência

conceptual dos modelos curriculares, é necessário o recurso à modelação por parte do professor, na tentativa de facilitar a mediação didática necessária à reconceptualização dos modelos mentais dos estudantes.

O professor, enquanto educador, propõe o conhecimento, ao invés de transmiti-lo sem a participação do estudante. Desta forma, o aluno passa a ser parte ativa do processo de construção do conhecimento. A utilização de diferentes metodologias facilita a aprendizagem dos conteúdos que adquirem significado (Alves 2014), havendo assim a reestruturação dos seus modelos mentais.

4.1.5. Metodologia

Com este trabalho pretendemos obter alguns indicadores relativamente à relevância atribuída à modelação, enquanto metodologia usada na lecionação de temáticas de riscos naturais, analisando a existência ou não de referências a atividades de modelação, em unidades curriculares onde são lecionadas as temáticas enunciadas. Para isso, foram recolhidas e analisadas as fichas das unidades curriculares do primeiro ciclo de estudos (licenciatura), que contemplam temáticas de riscos naturais, ministradas em universidades públicas portuguesas e inseridas em cursos com forte componente de geociências.

Após uma pesquisa prévia, foram recolhidas e consideradas para análise oito fichas de unidades curriculares, que compõem os planos de estudos de oito licenciaturas, pertencentes a sete universidades públicas portuguesas. A maioria das fichas analisadas é referente a unidades curriculares semestrais do ano letivo de 2013/2014. No entanto, algumas das fichas cedidas são relativas ao ano letivo de 2012/2013, mas foi garantida a não existência de alterações no conteúdo da ficha da unidade curricular. Posteriormente todas as fichas das unidades curriculares foram analisadas, com base numa grelha de análise construída e validada para o efeito por três especialistas com experiência na docência do ensino superior.

A tabela possui seis categorias de análise: finalidades; conteúdo conceptual; conteúdo procedimental; conteúdo atitudinal; metodologias e avaliação, e cada uma das categorias enunciadas divide-se em várias subcategorias, definidas de acordo com as especificações das fichas das unidades curriculares analisadas, de forma a facilitar a recolha e sistematização das informações.

Na categoria *finalidades* pretende-se analisar os objetivos definidos para as unidades curriculares nas várias instituições do ensino superior em estudo. Neste caso, as subcategorias definidas são: desenvolver conhecimentos sobre os riscos naturais/geológicos, *promover ações de gestão de recursos*, *prever e minimizar riscos* e, *analisar e investigar soluções para problemas associados a situações de risco*. Relativamente à categoria *conteúdo conceptual* as subcategorias definidas dizem respeito aos conteúdos científicos que se espera que os estudantes desenvolvam, nomeadamente: *definir risco*, *perigo e vulnerabilidade*, *efetuar a avaliação e gestão do risco*, *analisar os efeitos dos sismos em edifícios e outras estruturas* e, *prever e prevenir riscos*, *ações de segurança*.

O *conteúdo procedimental* pretende recolher informações sobre os conhecimentos que os estudantes devem desenvolver relativamente aos processos e métodos científicos, incluindo a utilização de *técnicas/software específicas para avaliação e gestão do risco, desenvolver planos de gestão de risco e, analisar, pesquisar e sintetizar informação*. Também se considerou importante recolher informações sobre os *conteúdos atitudinais* que correspondem às atitudes e aos valores que se pretende que os estudantes desenvolvam: *desenvolver valores inerentes ao trabalho individual e colaborativo e, desenvolver autonomia e capacidade de organização na gestão de tarefas e do tempo*.

No que diz respeito à *metodologia*, as subcategorias definidas correspondem às principais metodologias enunciadas nas fichas das unidades curriculares analisadas: *ensino Tradicional* (apresentações PowerPoint®, resolução de exercícios, leitura de textos e artigos), *modelação* (elaboração de modelos), *resolução de problemas* (análise e discussão de situações-problema), *saídas/trabalho de campo e, desenvolvimentos de projetos/trabalhos em grupo*. Finalmente, considerou-se pertinente analisar também o tipo de *avaliação* contemplada nas fichas das unidades curriculares, uma vez que esta deve ser adaptada ao tipo de metodologias adotadas no ensino das unidades curriculares. Desta forma, o tipo de avaliação contemplada consiste em *testes/exame final, trabalhos em grupo e, realização de relatórios de atividades*.

4.1.6. Apresentação e discussão dos resultados

Após a seleção das unidades curriculares para análise, de acordo com os critérios estabelecidos, ou seja, unidades curriculares que contemplassem temáticas relacionadas com os riscos naturais e que integrassem cursos de licenciatura, procedeu-se à análise de conteúdo das fichas das unidades curriculares, uma vez que correspondem a documentos oficiais que devem apresentar, ainda que de forma resumida, os objetivos e pressupostos da respetiva unidade curricular a que pertencem.

Os resultados obtidos através dessa análise foram organizados e encontram-se sintetizados na tabela 4.1., que corresponde a uma check-list, estando assinaladas com

um X todas as unidades curriculares cuja ficha contempla cada uma das subcategorias de análise.

Tabela 4.1. Grelha de análise das fichas das unidades curriculares. (n=8)

Categoria	Subcategoria	Unidades Curriculares							
		U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8
Finalidades	Desenvolver conhecimentos sobre os riscos naturais/geológicos	X	X	X	X	X	-	X	X
	Promover ações de gestão de recursos, prever e minimizar riscos	-	X	X	-	-	X	-	X
	Analisar e investigar soluções para problemas associados a situações de risco	X	-	-	-	X	X	X	-
Conteúdo Conceptual	Definir risco, perigo e vulnerabilidade	X	-	-	X	X	X	X	-
	Efetuar a avaliação e gestão do risco	X	X	-	X	-	-	-	X
	Analisar os efeitos dos sismos em edifícios e outras estruturas	-	-	-	X	-	-	-	-
	Prever e prevenir riscos, ações de segurança	-	-	X	X	X	-	X	X
Conteúdo Procedi-mental	Utilizar técnicas/software específicas para avaliação e gestão do risco	-	X	-	-	-	X	X	-
	Desenvolver planos de gestão de risco	X	-	-	-	-	-	-	-
	Analisar, pesquisar e sintetizar informação	X	-	X	-	-	X	-	-
Conteúdo Atitudinal	Desenvolver valores inerentes ao trabalho individual e colaborativo	X	-	-	-	-	X	-	X

	Desenvolver autonomia e capacidade de organização na gestão de tarefas e do tempo	X	-	X	-	-	X	-	X
Metodologia	Ensino Tradicional (apresentações PowerPoint®, resolução de exercícios, leitura de textos e artigos)	-	-	X	X	X	X	X	-
	Modelação (elaboração de modelos)	-	-	-	-	-	-	-	-
	Resolução de Problemas (análise e discussão de situações-problema)	X	-	-	X	-	-	-	-
	Saídas/Trabalho de campo	-	X	X	X	-	X	-	-
	Desenvolvimento de projetos/Trabalhos em grupo	-	X	X	-	-	X	-	X
Avaliação	Testes/ Exame Final	-	X	X	X	X	X	X	X
	Trabalhos em grupo	X	-	-	-	-	X	-	X
	Relatórios de atividades	-	X	X	-	-	X	X	X

Através da análise de cada uma das categorias apresentadas na tabela 4.1., verifica-se que, relativamente às *Finalidades*, a maioria das unidades curriculares (f=7) refere o *desenvolvimento de conhecimentos sobre os riscos naturais/geológicos* como finalidade da unidade curricular. Contudo, constata-se que algumas fichas das unidades curriculares (f=4) referem também a *promoção de ações de gestão de recursos, previsão e minimização de riscos* e a *análise e investigação de soluções para problemas associados a situações de risco* como finalidades das unidades curriculares analisadas.

No que diz respeito ao *conteúdo conceptual*, 5 unidades curriculares (f=5) contemplam a *definição de risco, perigo e vulnerabilidade* e a *previsão e prevenção de riscos, ações de segurança* como conteúdos a serem lecionados. Atendendo ao facto de terem sido analisadas unidades curriculares onde são lecionadas temáticas de riscos naturais, era de prever que os conteúdos mais importantes a serem abordados se referissem à noção de risco, perigo e vulnerabilidade, não esquecendo outros assuntos relacionados. Outros conteúdos são também referidos, como a *avaliação e gestão do risco* e, *o efeito dos sismos em edifícios e outras estruturas*, sendo que o último apenas

é enunciado numa das fichas das unidades curriculares analisadas. O tipo de conteúdos enunciados espelha um pouco os propósitos principais destas unidades curriculares, passando esses objetivos pela sustentabilidade, e a capacidade de prever, prevenir e minimizar os danos causados por estes fenómenos naturais.

Em termos *procedimentais*, poucas fichas das unidades curriculares fazem referência aos *conteúdos* que devem ser abordados nesta categoria, mas ainda assim verifica-se que 3 *utilizam técnicas/software específicas para avaliação e gestão do risco* e respetivos procedimentos implícitos e, referem a *análise, pesquisa e sintetização de informação* como procedimentos igualmente relevantes. Também a nível do *conteúdo atitudinal* a informação disponível nas fichas das unidades curriculares é vaga, referindo-se geralmente ao desenvolvimento da autonomia dos estudantes, a capacidade de realizar trabalhos em grupo e várias atitudes inerentes ao desenvolvimento do trabalho colaborativo, que correspondem a atitudes que se espera que os estudantes desenvolvam ao longo do seu processo de construção do conhecimento. Deste modo, 4 fichas das unidades curriculares (f=4) referem o *desenvolvimento da autonomia e a capacidade de organização na gestão de tarefas e do tempo* e 3 unidades curriculares (f=3) referem o *desenvolvimento de valores inerentes ao trabalho individual e colaborativo* como atitudes a desenvolver.

Relativamente à categoria referente à *metodologia*, verifica-se que a maioria das fichas das unidades curriculares (f=5) contempla a existência de um *ensino tradicional*, que compreende o recurso a apresentações *PowerPoint*® resolução de exercícios, leitura de textos e artigos científicos. Além desta metodologia, há algumas fichas de unidades curriculares (f=4) que referem um ensino baseado em *saídas para o exterior e/ou o trabalho de campo*, assim como o *desenvolvimento de projetos e/ou a realização de trabalhos em grupo*. Contudo, nenhuma das fichas das unidades curriculares em análise faz referência a um ensino investigativo baseado em modelos.

A *avaliação* das unidades curriculares em análise ocorre predominantemente (f=7) através da realização de *testes* realizados durante o período letivo, ou através de um *exame final*. Além deste instrumento de avaliação são referidos outros como a realização de *relatórios de atividades* (f=6) e a elaboração de *trabalhos em grupo* (f=3). É notória a diversidade de instrumentos de avaliação dos estudantes, não se baseando apenas na realização de testes ou exames para avaliação do conhecimento conceptual, aplicando diferentes tipos de avaliação consoante a metodologia que mais valorizam.

4.1.7. Conclusões

De acordo com os resultados apresentados anteriormente é possível concluir que nenhuma das fichas das unidades curriculares em análise contempla o recurso à modelação como metodologia de ensino de temáticas de riscos naturais. Também se verifica que a leção das temáticas relativas aos riscos naturais ocorre através de um ensino predominantemente tradicional, que é apoiado em apresentações *PowerPoint*[®] e na leitura e discussão de artigos científicos, sendo de notar, a ausência de referência a qualquer tipo de exploração dos artigos científicos para além da sua leitura.

O conteúdo das fichas das unidades curriculares pode, até certo ponto, ser limitado e não representar a totalidade de conteúdos que são explorados nas unidades curriculares a que correspondem. Isto deve-se ao facto de o seu preenchimento nos websites das várias universidades estar condicionado a um número de caracteres limitado, facto que pode ter impossibilitado a descrição pormenorizada de algumas dimensões em análise. Contudo, as fichas das unidades curriculares constituem os documentos oficiais que estão geralmente disponíveis para consulta dos estudantes, e por isso, devem espelhar os principais objetivos e conteúdos da unidade curricular. Assim, consideramos que os aspetos mais relevantes são sempre mencionados e neles não se incluiu um ensino com recurso à modelação. Pelo exposto, os autores consideram que é necessário intervir ao nível das metodologias de ensino, na tentativa de se valorizar o papel dos modelos e da modelação no ensino superior português para leção de temáticas de riscos naturais. Esta intervenção deverá envolver fortemente os docentes, pois estes devem desenvolver competências para compreenderem como ocorre o processo de construção dos modelos mentais dos estudantes e como o uso de modelos em sala de aula facilita a reestruturação desses modelos mentais. Desta forma, é imprescindível que conheçam a natureza dos modelos, que percebam como estes devem ser introduzidos na sala de aula, e principalmente tenham a capacidade de desenvolver modelos que possam ser usados no ensino (Justi & Gilbert, 2002b).

Futuramente, importa analisar se o recurso aos modelos e à modelação se adequa e auxilia a reestruturação dos modelos mentais dos estudantes do ensino superior, contribuindo para o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio prestado pelo Instituto de Ciências da Terra (ICT), sob contrato com a FCT - Fundação Portuguesa para a Ciência e Tecnologia.

4.1.8. Referências bibliográficas

- Alves F.M. 2014. Enriquecendo o ensino de ciências através do uso de modelos didáticos: uma abordagem com o sistema circulatório humano. *II Encontro de Pesquisa em Ensino das Ciências e Matemática: questões atuais*. 1(1):32-34.
- Barbosa J.C. 2009. Modelagem e Modelos Matemáticos na Educação Científica. *Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 2(2): 69-85.
- Bolacha E., Deus H.M., Fonseca P.E. 2011. The concept of analogue modelling in Geology: an approach to mountain building. In *Proceedings of the 9th ESERA Conference*. University of Lyon, France.
- Brandstetter T. 2011. Time Machines: Models Experiments in Geology. *Centaurus*, 53: 135-145.
- Clement J. 2000. Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9): 1041–1053.
- Deus H.M., Bolacha E., Vasconcelos C., Fonseca P.E. 2011. Analogue modelling to understand geological phenomena. In *Proceedings of the GeoSciEd VI*. Joahnnesburg, South Africa.
- Gobert J.D., Buckley B.C. 2000. Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9): 891-894.
- Graveleau F., Malavieille J., Dominguez S. 2012. Experimental modelling of orogenic wedges: A review. *Tectonophysics*, 1-66.
- Greca I.M., Moreira M.A. 2000. Mental models, conceptual models, and Modeling. *International Journal of Science Education*, 22(1): 1-11.

- Hodson D. 1992. In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, **14**: 541–562.
- Johnson-Laird P.N. 1983. *Mental Models. Towards a Cognitive Science of Language, Inference and Consciousness*, Cambridge: Harvard University Press, 126-146.
- Justi R. 2006. La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, **24**(2): 173-184.
- Justi R.S., Gilbert J.K. 2002a. Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, **24**(4): 369-387.
- Justi R.S., Gilbert J.K. 2002b. Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, **24**(12): 1273-1292.
- Krapas S., Queiroz G., Colinviaux D., Franco C. 1997. Modelos: Uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, **2**(3): 185-205.
- Louca L.T., Zacharia Z.C., Constantinou C.P. 2011. In Quest of Productive Modeling-Based Learning Discourse in Elementary School Science. *Journal of Research in Science Teaching*, **48**(8): 919-951.
- Moreira M.A. 1996. Modelos Mentais. *Investigação em Ensino de Ciências*, **1**(3): 193-232.
- Moreira M.A. 2014. Modelos científicos, modelos mentais, modelagem computacional e modelagem matemática: aspectos epistemológicos e implicações para o ensino, *Revista brasileira de ensino de Ciência e Tecnologia*, **7**(2): 1–20.
- Moutinho S., Torres J., Almeida A., Vasconcelos C. 2013. Portuguese teachers' views about geosciences models. In: Membiela P. e Vidal M. eds. 2013 *Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*, Girona: Spain, p. 2430-2435.
- Palmero M.L.R. 2008. La Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird. In: Palmero M.L.R., Moreira M.A., Sahelices M.C.C. e Greca I.M. eds. 2008. *La Teoría del Aprendizaje Significativo en la perspectiva de la Psicología Cognitiva*, Barcelona: Editorial Octaedro, p.46–87.

- Torres J. e Vasconcelos C. 2014. Os modelos e a modelação na formação inicial de professores de Biologia e de Geologia. *Comunicações Geológicas*. **101**: 1–4.
- Treagust D.F., Chittleborough G., Mamiala T.L. 2002. Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science education*. **24** (4): 357-368.

5.

VALIDAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE RECOLHA DE DADOS

5.1.

Mental Models about Seismic effects: Students' profile-based comparative analysis

Sara Moutinho, Rui Moura and Clara Vasconcelos

International Journal of Science and Mathematics Education, 14(3), pp. 391-415.

5.1.1. Abstract

Nowadays, meaningful learning takes a central role in science education and is based in mental models that allow the representation of the real world by individuals. Thus, it is essential to analyze the student's mental models by promoting an easier reconstruction of scientific knowledge, by allowing them to become consistent with the curricular models presented in the classroom. In this context, the study aims to examine, through the application of a diagnostic instrument (Two Tier Diagnostic Test), what students consider to be the seismic effects on soils and buildings, to analyse and to compare their mental models about some of these issues related to seismology, applying a questionnaire to 52 students from a Portuguese University, attending an undergraduate degree in Geology and a master course in Biology and Geology teaching. The analysis of the data allowed to conclude that undergraduate students have more inconsistent mental models than master students, mainly concerning the factors which influence the seismic risk, such as hazard and vulnerability, and the soils characteristics which influence the intensity of earthquakes. During their academic formation in the university, teachers present some curricular models to students which allow them to reconstruct their mental models and turn them scientifically consistent, enhancing the educational implications of this study that points to the need for teachers to be aware of the importance of the diagnosis of the students' mental models and to promote meaningful learning and scientific literacy autonomously and dynamically.

Keywords

Curricular models, meaningful learning, mental models, scientific literacy, seismology.

5.1.2. Introduction

Nowadays meaningful learning has a central role in science education and it is known that it is only possible because the mental models, which allow students to represent the real world. Mental models are personal models that are built by the individuals to represent a part of the world and can be express through action, speech, writing and drawing (Krapas, Queiroz, Colinvaux & Franco, 1997). These models are important to understand the knowledge construction process (Rook, 2013) because they are considered as representations of the external world, which are developed by the human mind (Greca & Moreira, 2000; Moreira & Palmero, 2002). They are personals (Coll, France & Taylor, 2005) and scientifically inconsistent, although they are extremely useful and functional for students that use them to solve problem-situations being consider as their prior knowledge (Mikkilä-Erdmann, Penttinen, Anto & Olkinuora, 2008).

According to Johnson-Lairds' Mental Models Theory, mental models are internal representations which help the comprehension of the phenomena, because they allow people to develop the ability to explain and predict phenomena (Greca & Moreira, 1997; Johnson-Laird, 1983). These representations are mental correlations of the reality which constitute working models, and they are constructed trough propositions and images that can be related to the model (Greca & Moreira, 1997; Johnson-Laird, 1996). Mental models are simple and always represent concrete entities, however they may not be sophisticated as the currently model accepted by scientists, but they represent a simplified and analogue knowledge that sometimes is not recognized by scientific community (Clement, 2008; Norman, 1983). Johnson-Laird (1983; 2001) says that there are many models to represent one concept, so it is important to diagnose students' mental models and analyse them to understand their knowledge construction process.

Students construct their personal mental models for a theory with all knowledge that was developed in the learning process, but normally these mental models are not precise, complete and scientifically consistent, and it is necessary that teachers promote their restructure, turning them more scientifically consistent (Moutinho, Torres, Almeida

& Vasconcelos, 2013). In this context, there are some types of models that are important to understand how the restructuring process of students' mental models occur. They are the scientific models, and the curricular models.

Scientific models correspond to specific models that result from the creation of a scientist to represent an idea, object, event, process or system. Scientific models are the scientifically accept model and reflect the representation of the shape of reasoning of a scientist (Justi, 2006). However, these models are generally complex, and they require simplification to be taught in the science classroom. Such simplification, used for teaching purposes, is named curricular model and conveys the school science (Justi, 2006). Curricular models are precise and scientifically consistent, being constructed to facilitate the learning of physical models (Norman, 1983) and to demonstrate how things work and to explain sophisticated knowledge, which are, many times, extremely complex and abstract (Moutinho et al., 2013; Torres, Moutinho, Almeida & Vasconcelos, 2013). However, it is necessary that the teacher use teaching models, built with the specific goal of helping students to learn some aspects of a particular curricular model. Thus, the teaching model corresponds to an approximate representation of a part of reality, which is built with the purpose of promoting understanding of this reality by the student. They are developed by teachers and used as learning instruments to facilitate the comprehension and learning (Greca & Moreira, 2000; Moreira & Palmero, 2002). When students contact with these models in science lessons, they can present different reactions: (i) they can try to interpret the models according to their prior knowledge (mental models) which results in hybrid models; (ii) they may try to memorize them completely out of context, creating single propositions which results in a mechanical learning; (iii) or they can construct mental models that are consistent with curricular models (Greca & Moreira, 2000).

As so, teaching models support the teaching mediation processes responsible for the transformation of scientific knowledge (scientific model) into school knowledge (curricular model), giving consistency to the students' personal representations (students' mental models). This restructuring process should occur naturally and spontaneously through methodologies that lead students to evaluate the importance of models and to relate them to their prior knowledge which consist in fragmented elements, and so students' conceptual structures may be altered by adding new information to them or replacing this information by other scientifically more consistent (Mikkilä-Erdmann et al., 2008; Moreira & Palmero, 2002). As so, the use of models simplifies natural phenomena and promotes a deeper understanding of natural processes' dynamics and their variables (Moutinho et al., 2013). However, curricular models may conflict with

students' mental models, making it difficult for conceptual change (Moutinho et al., 2013). In other words, scientific content used to describe the curricular models may enter in conflict with the vocabulary and concepts that students recognize through the use of natural language (Clement, 2000). The main goal of Johnson-Lairds' Mental Models Theory is to make students evaluate and restructure their mental models, making them evolve and become consistent with curricular models and scientific knowledge, promoting a meaningful learning (Norman, 1983; Palmero, 2008).

The purpose of this study is to compare the mental models of undergraduate students in Geology and master students in Biology and Geology teaching about the seismic effects on soils and buildings, and to determine the evolution of their mental models during the academic formation.

5.1.2.1. Curricular Model about seismic effects on soils and buildings

According to Grotzinger & Jordan (2010) an earthquake consists of an amount of energy released in rocks under stress, which fail along a geological fault. This energy is released as a form of seismic waves that can be both body waves and surface waves, and they are detected by some instruments known as seismometers and then recorded by seismographs (Moura et al., 2009). Body waves are P (primary) and S (secondary) waves, which travel through the Earths' interior. P waves are the first waves being detected in seismic records, followed by S waves. Surface waves, which include R (Rayleigh) waves and L (Love) waves, propagate on the Earths' surface (Grotzinger & Jordan, 2010). R waves cause the roll of ground in elliptical counterclockwise motion that decreases with depth, and in general, this type of waves, along with Love waves, are more destructive than body waves (Grotzinger & Jordan, 2010; Moura, Umaraliev, Dal Moro & Noronha, 2012).

Earthquakes are characterized by two factors: magnitude and intensity. Magnitude is an instrumentally measured quantity, which was most popularly determined using a logarithmic scale, developed by Richter, who gave his name to a scale still referred to nowadays – the Richter scale (Atkinson, 2004; Bell, 2003). The Richter magnitude scale has since been replaced with another, known as moment magnitude scale (MMSc).

On the other hand, earthquake intensity scales, that measure the effects of an earthquake, depend on the human perceptibility and its destructiveness, and it is measured by modified Mercalli Scale which was proposed by Giuseppe Mercalli (Bell,

2003; Grotzinger & Jordan, 2010). Using the analyses to the intensity of the earthquakes it is possible to evaluate the seismic risk, which is governed by vulnerability and hazard components (Glade, Anderson & Crozier, 2005), illustrated in figure 5.1.

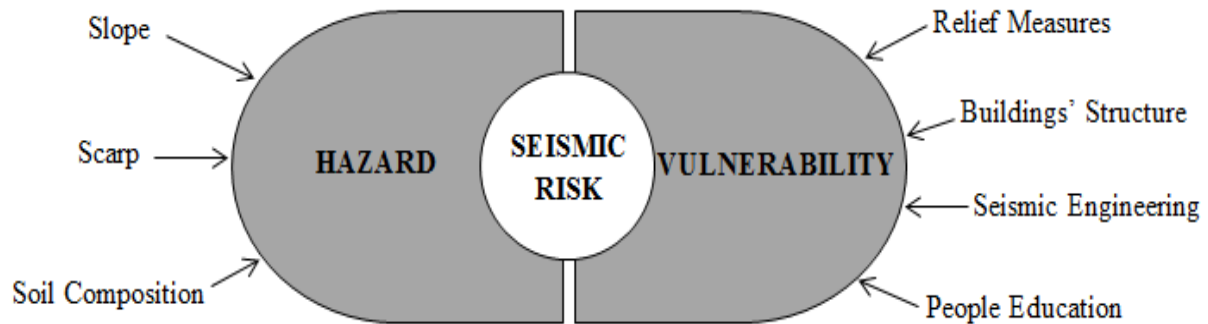


Figure 5.1. Conceptual relation between hazard, vulnerability, and risk. (Adapted from Glade *et al.*, 2005)

To determine seismic hazard there are some factors that must be considerate, like soil composition, soil slope and the existence of scarps (Moura et al., 2009). Soil composition is responsible for the increment of seismic intensity, or site effect, which is dependent on soil conditions, and it is important in many studies concerning earthquake engineering and seismology engineering, because these studies allow us to understand that if the frequencies of vibration of the buildings fall into the range where soil amplification is expected, damage might increase during an earthquake due to possible soil – structure resonance effects (Massa, Marzorati, Ladina & Lovati, 2010; Moura et al., 2012). According to Bell (2003), the increment of seismic intensity explains why amplitude and acceleration are much greater on deep alluvium than on rock.

Vulnerability is related with all variables associated to the stability of a building, including its construction, all the materials used and peoples' behaviour during an earthquake (Moura et al., 2009), it means that vulnerability is related to the human action on buildings' construction and human behaviour during an earthquake. As so, vulnerability includes seismic engineering, building structure, peoples' education, relief measures and everything that could influence the seismic effects on populations, which includes financial situation of a country, the nonexistence of appropriate rescue measures or, the lack of knowledge about these phenomena (Glade et al., 2005). The concept map (figure 5.2.) was elaborated according the aspects referred above, and illustrate the organization of all important concepts that students should understand to restructure their mental models.

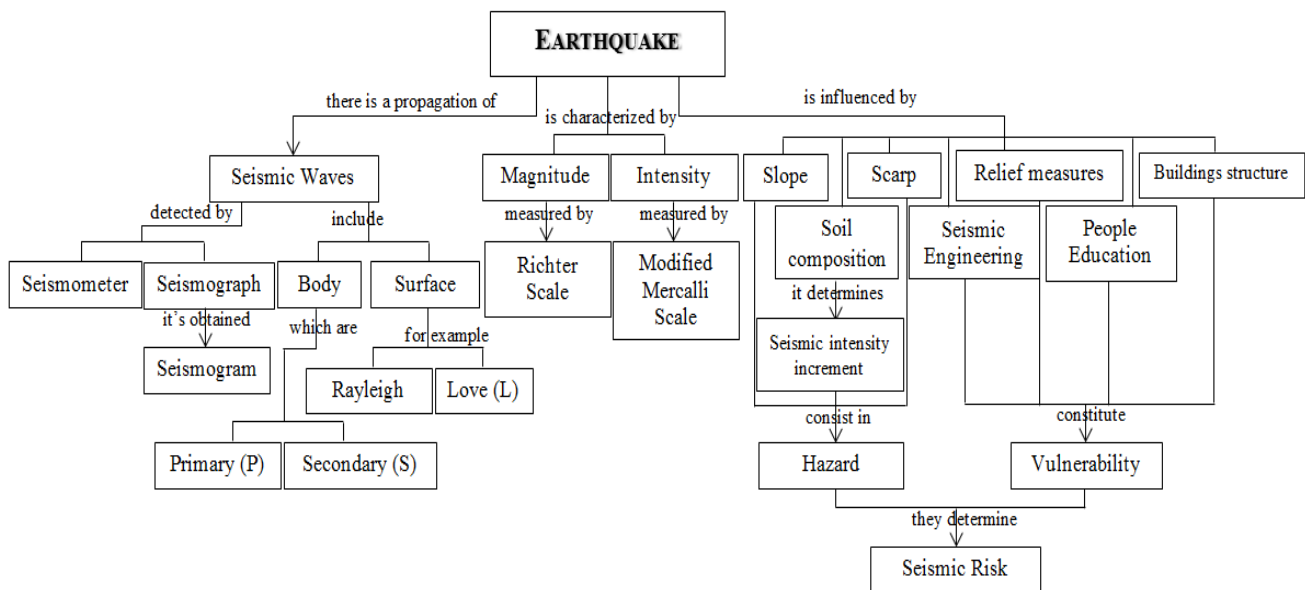


Figure 5.2. Concept map framework developed for the DI.

5.1.2.2. The research question

Seismology is an issue that is taught in Portuguese high school and some Portuguese universities, mainly in undergraduate degree in Geology and master course in Biology and Geology teaching. As so, students are familiarized with some aspects regarding this issue, such as the “seismic effects on soils and buildings” because they learn it in school but also because this is a very current issue, which is explored on television due to seismic episodes recorded in Portugal and around the world. Mainland Portugal is located on a moderate to low seismicity intraplate area although it is also influenced by interplate tectonics, especially in the Azores archipelago. However the majority of the large earthquakes that Portugal experienced are prior to the instrumental period of seismology.

Sometimes students develop mental models that are not consistent with scientific knowledge because they memorize single propositions without relation with their mental models, and thus they cannot restructure them to construct a scientifically consistent knowledge, and these mental models could persist during students’ academic formation.

In this way, it is important to study what are the students’ mental models concerning the seismic effects on soils and buildings, in order to verify if students recognized what are these effects and their influence on soils and buildings that are constructed in a region, but also analyse whether mental models evolve along the students’ academic formation.

The research question is “what students, from undergraduate degree in Geology and master in Biology and Geology teaching, consider to be the seismic effects on soils and buildings?” Apart from this, other questions can be formulated, like what are students’ mental models about this issue? and, are their mental models consistent with scientific knowledge?

With this study we want to analyse the mental models of undergraduate and master students about seismic effects on soils and buildings, but first it is important to assess what, when and how Portuguese students learn at school about this issue.

At school, seismology is learning on the third cycle of basic education, namely in the seventh grade of the subject *Natural Sciences*. At this level, Portuguese science curriculum only refers that teachers should teach the concept of earthquake, and to explain what the Richter and Mercalli scales are and what they measure. The curriculum also suggests that teachers explain some of prevention measures that population must adopt during an earthquake. At high school, in the tenth grade, the curriculum suggests that concepts of seismology and other some important concepts related with it, such as the seismic focus, intensity and magnitude, Richter and Mercalli scale, seismograph and seismogram and also proposes the discussion of geologists’ intervention in seismic risk prevention.

This curriculum also gives some guidelines to teachers concerning the methodology but does not give any directives about how to teach this issue to students. In Portuguese universities, mainly in those where Geology is taught, the seismic effects on soils and buildings are taught with some depth and beyond the issues already mentioned the concepts of vulnerability and seismic hazard are also clarified, because both of them influence the seismic risk. However, when students arrive to university they already have some mental models that are no consistent with scientific knowledge and, sometimes is very difficult to restructure their mental models, because students memorize what they learn, generating a mechanic learning (Greca & Moreira, 2000).

The sample of this study was constituted by students from first grade of an undergraduate degree in Geology and first grade students from a master in Biology and Geology teaching. These students were selected because the undergraduate students have not attended any course about seismology, so all their mental models were constructed based on what they learn in middle and high school, whereas master students have already attended some courses where this issue was taught. This sample makes it possible to analyse if the students’ mental models, about seismic effects on soils and buildings, evolve during their academic formation, and if there are some differences between the mental models from undergraduate students to master students.

5.1.3. Methodology

The development of the study comprises two tasks which include the construction of a Diagnostic Instrument (DI) and its implementation on a sample constituted by 52 university students from an undergraduate degree and master course in a Portuguese University. The implementation of the DI occurred in May 2013. The data were analysed using version 21 of SPSS software, and included the analyses of the frequencies of students' answers to the Two Tiers Diagnostic Test (TTDT) and, a comparison between undergraduate and master students' profiles, according the Simple Congruency coefficient and Configurational Similarity coefficient.

5.1.3.1. Development of the DI

All the questions of the instrument were formulated based on the works of Bell (2003), Moura and collaborators (2009), Kirkby (2011), Moura and collaborators (2012) and Francek (2013). The diagnostic instrument was constructed according to the structure of the questionnaire of a study developed by Monteiro, Nóbrega, Abrantes and Gomes (2012): questions with two-tier – the first a true or false tier and the second a multiple choice justification. Our final version of the instrument was a Two-Tier Diagnostic Test (TTDT - appendix 2) and had twelve questions about the seismic effect on soils and buildings. As already mentioned the TTDT has two parts: (i) the first tier had a sentence relating the seismic effects on soils and buildings, and students should classify the sentence into *True*, *False* or *Don't know*; (ii) the second tier had some sentences written in a multiple choices-bases and which justify the answers of the first tier.

Building construction influences the seismic risk in a region. ☐ True ☐ False ☐ Don't know

- Because:*
- a) Seismic risk depends on regions' vulnerability.
 - b) Only the soil properties influence the seismic risk.
 - c) Some materials and techniques used in building construction give them a weak response to seismic waves.
 - d) Other. _____

Figure 5.3. Example of a complete item with both tiers.

The multiple choice options of the second tier were presented as suggested by the directives of the study of Treagust (1986; 1988), this is, there were four options of choice: a correct and scientifically consistent explanation, an incorrect justification which reflects a scientifically inconsistent mental model, an incorrect explanation that has no relation with the question and an open-ended option (option d – *other*). In this case, students can indicate their own explanation for the question. Students who select the option *don't know* in the first tier did not had to answer to the second tier of the question.

After its elaboration and before its implementation, the TTDT was adapted to Portuguese university students' population and it was validated by two experts in geoscience education. Evaluators assessed the comprehensibility, clarity, and accuracy of questions for the TTDT. The experts evaluated each question and indicated whether the questions were representative of corresponding questionnaires. They also analysed if the questions were suitable or not and when was necessary, they proposed additional questions. The revision of the questions of the TTDT was done based on the reviews.

The instrument was built and administrated in Portuguese language. The translation of the questionnaire (appendix 2) had the following procedure: (i) the translation of the instrument for English language was made by one of the members of the research team; ii) this version of the translation was reviewed by an expert in geoscience education with a thorough knowledge of English; (iii) the instrument was sent to a bilingual English researcher with a good understanding of both English and Portuguese cultures, so as to undertake a reverse translation for verification purposes. At the end, advice was requested on how to improve its understanding from others researchers with experience in educational research. A preliminary study was done with a very small sample of students with similar age and curriculum so as to diagnose problems with some expressions and give more clarity to the instrument.

5.1.3.2. Implementation of the DI

The DI was applied in May 2013, to a sample of 52 Portuguese university students, from an undergraduate degree in Geology and master in Biology and Geology teaching. The DI was answered only for the first grade students, and lasted ten minutes. All the questionnaires were anonymous and there was not any information which could identify the students.

5.1.3.3. The sample

The questionnaire was applied to a sample of 52 Portuguese university students (table 5.1.), 31 first year students of an undergraduate degree in Geology, 11 females and 20 males, with a mean age of 19.5 years old, ranging from 18 to 34 years old, and 21 students of a master course in Biology and Geology teaching, 15 females and 6 males, with a mean age of 25.1 years old, ranging from 21 to 47 years old. This sample corresponds to the total number of students attending these courses in the public university selected to be the object of study. This university is the one that has the higher number of students attending these courses, being that the reason for being chosen to conducts this study.

Table 5.1. Students' characteristics (n=52).

	Nº Students	Gender	f	Age Range
Undergraduate	31	Female	11	18 – 34
		Male	20	
Master	21	Female	15	21 – 47
		Male	6	

Having this in mind, we wanted to know if students' conceptions evolve during the graduation, this is, we aimed to verify if the graduation in geology with a minor in biology (the requested graduation to apply for the master in Biology and Geology teaching) was making students conceptions related to the seismic effects on soils and buildings more accurate.

5.1.4. Results and discussion

5.1.4.1. Students' answers

After collecting and analysing the data, results were organized according the students answers in both tiers of the questions. The answers were classified into *Correct*, if the answers from both tiers were correct, and *Incorrect* if only second tier was incorrect, both tiers were incorrect, if students answered *Don't know*, or if first tier was incorrect and second tier was correct, which was categorized as *Contradiction*, because students show that they don't know how to classify the sentences as *true* or *false*, but they select the option which correctly explains the sentence, so it was considerate a contradiction.

Table 5.2. shows the results obtained in each question including the frequency of students which select the right and wrong answers.

Table 5.2. Classification of students' answers into *Correct* and *Incorrect*.

Item	Correct				Incorrect					
	Both tiers		Only second tier		Both tiers		Don't know		Contradiction	
	U	M	U	M	U	M	U	M	U	M
Q1	2	3	19	14	5	3	4	1	1	0
Q2	19	17	4	0	3	3	3	1	2	0
Q3	12	10	3	6	2	0	13	5	1	0
Q4	0	0	5	1	8	10	3	1	15	9
Q5	6	7	2	2	1	2	21	10	1	0
Q6	14	12	0	2	12	6	0	0	5	1
Q7	13	14	5	1	12	1	1	4	0	1
Q8	20	16	4	2	3	6	1	0	0	0
Q9	6	7	1	1	2	5	20	5	2	3
Q10	11	12	1	1	0	0	15	6	4	2
Q11	24	20	1	1	4	0	0	0	2	0
Q12	27	19	0	0	3	0	0	0	1	2

U – Undergraduate students; M – Master Students.

The results show that there were no students who answered correctly to the question Q4, which refers to factors that influence the seismic risk, like vulnerability and

seismic hazard. The majority of students (15 undergraduate students and 9 master students) were answered correctly to the second tier but not the first tier, which means these answers were in contradiction. This results show that university students have a scientifically inconsistent mental model about the factors that influences the seismic risk, and they don't know how to distinguish vulnerability from hazard.

Question Q1 also allows identify some inconsistent mental models about the seismic waves because only 2 undergraduate students and 3 master students answered correctly to the question, and the majority of students selected the wrong option in the second tier (19 undergraduate students and 14 master students). However, the results show that the majority of students have mental models that are scientifically consistent about Mercalli scale (Q2), seismic forecast (Q11) and seismic effects in population (Q8 and Q12), because the majority of them selected the correct option in both tiers for the questions Q2 (U= 19; M= 17), Q11 (U= 24; M= 20), Q8 (U= 20; M= 16) and Q12 (U= 27; M= 19).

In questions Q3, Q5 and Q9, some students answered correctly in both tiers, but there are also many students who reveal having scientifically inconsistent mental models concerning the soil composition and hazard. In all these questions, many students revealed *don't know* how to classify the sentences of the questions Q3 (U= 13; M= 5), Q5 (U= 21; M= 10) and Q9 (U= 20; M= 5), corresponding, these percentages to the majority of students in Q5 and Q9. Finally, according to the results to the questions Q7 and Q10, the majority of master students have a scientifically consistent mental model about seismic intensity increment (Q7= 14; Q10= 12). However, the majority of undergraduate students *don't know* the answer to Q10 (15), and many of these students selected the wrong option in both tiers of Q7 (12) which reveals some inconsistent mental models about this issue.

5.1.4.2. Students' inconsistent mental models

Through the analyses of the incorrect answers it was possible to identify the students' mental models which were scientifically inconsistent, concerning the seismic effects on soils and buildings. These mental models are about the types of seismic waves, modified Mercalli Scale characteristics, earthquakes' intensity according soils characteristics, peoples' influence on seismic effect, factors which influence the seismic risk and seismic prediction. All the mental models were organized from the highest to the lowest number of students who share them, and the results are presented in table 5.3.

Table 5.3. Students' inconsistent mental models revealed by the TTDT.

Mental Model	Combination	Undergraduate	Master
<i>Types of seismic waves.</i>			
(Q1) R waves are surface waves because they're extremely destructive.	True + a	18	13
(Q1) R waves are not surface waves because S waves are surface waves.	False + c	3	2
(Q1) R waves are not surface waves because they're extremely destructive waves.	False + a	2	0
(Q1) R waves are not surface waves because their amplitude rapidly decreases with depth.	False + b	1	0
(Q1) R waves are not surface waves because surface waves are P and S waves.	False + d	0	1
<i>Modified Mercalli scale characteristics.</i>			
(Q2) Modified Mercalli scale measures the magnitude because the maximum magnitude of an earthquake is 10.	True + c	2	1
(Q2) Modified Mercalli scale measures the magnitude because it measures the energy release in the seismic focus.	True + b	1	1
(Q2) Modified Mercalli scale does not measures the magnitude because it measures the energy release in the seismic focus.	False + b	1	1
(Q2) Modified Mercalli scale does not measures the magnitude because the maximum magnitude of an earthquake is 10.	False + c	1	0
<i>Earthquakes' intensity according soils characteristics.</i>			
	False + b	8	0

(Q7) Earthquake is felt with more intensity in a granitic soil because firm rocks have a higher seismic intensity effect.	True + c	2	5
(Q3) Regions located in granitic massifs have a null seismic amplification effect because granite is always resistant to the earthquakes.	True + b	2	1
(Q7) Earthquake is felt with more intensity in a region with sandy soil than a granite soil because granite has a higher seismic increment.	False + b	1	1
(Q5) Artificially filled ground does not have high seismic intensity effect because it is constituted by different types of rocks.	True + b	1	1
(Q10) Seismic intensity effect is very important on the evaluation of soil response to the effects of seismic waves because soils from nearby regions have similar seismic intensity effect.	False + b	1	0
(Q3) Regions located in granitic massifs have not a null seismic amplification effect because seismic amplification is almost zero in soils constituted by firm rocks.	True + a	1	0
(Q3) Regions located in granitic massifs have a null seismic amplification effect because granite is an unconsolidated rock.	False + d	1	0
(Q3) Regions located in granitic massifs have not a null seismic amplification effect because granite is more consolidate and more resistant to an earthquake, but it is also dangerous.	False + a	1	0
(Q5) Artificially filled ground does not have high seismic intensity effect because it is constituted by unconsolidated soils.	False + d	1	0

(Q5) Artificially filled ground does not have high seismic intensity effect because they are constituted by slightly porous rocks.	False + d	1	0
(Q7) Earthquake is felt with more intensity in a region with granite soil because sandy soils do not have the same consistency than granitic massifs.			
<i>Peoples' influence on seismic effect.</i>			
(Q8) People from nearby regions feel the earthquake with same intensity because they are located at the same distance to the epicentre.	True + a	7	2
(Q8) People from nearby regions do not feel the earthquake with same intensity because they are different sensitivity to feel the earthquake.	False + c	2	0
(Q12) Seismic effects cannot be controlled even if population were educated for, because during an earthquake, population turns vulnerable, and provokes unexpected results.	False + c	1	0
(Q12) Seismic effects cannot be controlled even if population were educated for, because people do not have any change to survive during an earthquake.	False + a	1	0
<i>Factors which influence the seismic risk.</i>			
(Q6) Building construction does not influence the seismic risk because it depends on the regions' vulnerability.	False + a	9	6
(Q4) Slope is responsible for the vulnerability of a region because its increase the seismic intensity.	True + c	4	6
	False + b	4	1

(Q4) Slope is not responsible for vulnerability because the only relevant factor is soil composition.	False + c	2	3
(Q9) Hazard is not responsible for the seismic risk because the most significant factor is vulnerability.	False + c	3	1
(Q7) Earthquake is felt with more intensity in a granite massif than a sandy soil because the intensity which people feel the earthquake depends on the structure of the buildings that are located in each region.	False + b	3	0
(Q6) Building construction does not influence the seismic risk because it is only influenced by soil properties.	True + d	1	1
(Q4) Slope is responsible for vulnerability because increase the damages' probability and seismic risk.	True + a	0	2
(Q6) Building construction influences the seismic risk because it depends on the regions' vulnerability.	True + d	1	0
(Q4) Slope is responsible for vulnerability because a higher slope turns a region vulnerable, and makes the soil more instable.	True + d	1	0
(Q4) Slope and soil composition are the responsible factors for the vulnerability.	True + b	0	1
(Q9) Hazard is a factor which influences the seismic risk because includes peoples' behaviour, which influences soils properties.			
Seismic prediction.			
(Q11) Earthquakes could be predicted because it is important to minimize damages on buildings and population.	True + a	3	0
	True + b	1	0

(Q11) Earthquakes could be predicted because there are many techniques and instruments that can be used.

Concerning the *types of seismic waves* mental model, when students were asked about this issue, in item Q1, 18 undergraduate students and 13 master students considered that R waves are surface waves because they are extremely destructive and 3 undergraduate students and 2 master students think that R waves are not surface waves because S waves are surface waves. In both cases the answers confirm the existence of a scientifically inconsistent mental model about the seismic waves and their properties. Students have difficulties to distinguish surface waves from body waves and they misidentify their properties.

In relation to the *modified Mercalli Scale characteristics* 2 undergraduate students and 1 master student considered that it measures the magnitude because the maximum magnitude of an earthquake is 10. Beyond this 1 undergraduate and 1 master student think that the modified Mercalli Scale measures the magnitude because it measures the energy release in the seismic focus. However, 19 undergraduate students and 17 master students answered correctly to the question Q2 (table 2), so these results show that a small percentage of students have an inconsistent mental model.

According to data from the mental model related to *earthquakes' intensity according soils characteristics*, 8 undergraduate students think that earthquakes are felt with high intensity in granitic soils because, firm rocks due their firmness should have a higher seismic intensity effect. This sentence shows that these students don't recognize that firm rocks, like granite, have in fact lowers values of seismic intensity increment. Some students consider that unconsolidated soils have lowers seismic intensity increments, and they have a null seismic amplification effect, which means that during an earthquake, people located in unconsolidated soils, like as sandy soils, felt its effect with lower intensity. But this is scientifically incorrect because in fact consolidated soils have lower seismic intensity increment. Master students do not present this mental model, but 5 of them considered that regions located in granitic massifs have a null seismic amplification effect because granite is always resistant to earthquakes. In this case, the mental model is also inconsistent with scientific knowledge because, on one hand, granite is not always seismically resistant, it depends on its weathering degree. On the other hand the intensity increment is related to mechanical parameters of rocks that amplify more or less, certain frequencies of seismic waves, and not much the

stability of rocks massifs. These results show that students have some erroneous mental models regarding the characteristics of rocks that constitute soils that manifest certain seismic effects.

In relation to *peoples' influence in seismic effects* was also verified that some inconsistent mental models exists: 7 undergraduate students and 2 master students think that people do not influence the outcome in the earthquakes' effects because when different people are located at the same distance to the epicentre, they feel the earthquake with same intensity. Actually, this is not correct because the distance to the epicentre is not the only factor which influences peoples' perception of the earthquake, there are many others factors such building structure, soil composition and each individuals' sensitivity to feel the earthquake. There are also 2 undergraduate students which considered that people from nearby regions do not feel the earthquake with same intensity because they may have different sensitivity to feel these phenomena, according to the number of times that they have felt the earthquakes.

Concerning the *factors which influence the seismic risk*, there are some inconsistent mental models shown by students. There are 9 undergraduate students and 6 master students which claim that building construction does not influence the seismic risk because it depends on the regions' vulnerability, and 4 undergraduate students and 6 master students think that slope is responsible for the vulnerability of a region because it is responsible for the increase of seismic intensity. These two mental models allow us to understand that in general, students do not know the difference between hazard and vulnerability, they confuse the two concepts, and this results in a mental model which is scientifically incongruous. Moreover, they also confuse the factors that determine hazard and vulnerability. For example, 4 undergraduate students and 1 master student considered that slope is not responsible for vulnerability because the only relevant factor is soil composition, but in fact slope and soil composition are both factors that determine seismic hazard. There are students (2 undergraduate and 3 master students) who think that vulnerability have bigger influence in seismic risk than the hazard.

Finally, concerning the *seismic prediction*, 3 undergraduate students think that earthquakes could be predicted because it is important to minimize damages on buildings and population. In fact, is important to predict the earthquakes, however these predictions are most of the time impossible because it is a complex non-deterministic natural phenomenon. In this case, master students do not present inconsistent mental models.

5.1.4.3. Comparison of undergraduate and master students' profiles

In order to compare the profile of answers of undergraduate and master students a profile-based comparative analysis was used. This process consists in a multivariate statistical method which allows us to get quantitative results based in processing and evaluating the students profiles (Serafini, 1988), and it results from the averages of the answers given to each of the items by students, in this case, undergraduate and master students. In each evaluation, a relationship exists among the expected and the obtained results and is expressed based on distance/proximity between profiles. In other words, the proximity between the ideal situation and the results obtained, and its values, which is denoted by Simple Congruency coefficient (appendix 1). According to this coefficient, higher distances mean that the profiles are far from the ideal.

Configurational Similarity coefficient (appendix 1) is a complementary coefficient that measures the grade of correspondence of the high and low values between different profiles in each dimension (Cernuzzi & Zambonelli, 2008). Its values are easy to compare graphically, but different profiles may have great distances among them and still have great similarities in their configuration. In both coefficients (simple Congruency and Configurational Similarity coefficient), values range from 0 to 1, and if the coefficient range 0.90 to 1.00 the congruency is virtually perfect (being 1 the perfect match in the evaluation of profiles); the values of coefficient ranging between 0.70 to 0.89 there is a high congruency; ranging between 0.40 to 0.69 indicates a moderate congruency; ranging between 0.20 to 0.39 means that there is a low congruency and if the coefficient ranges between 0.00 to 0.19 the congruency is virtually nonexistent (Cernuzzi & Zambonelli, 2008; Serafini, 1981).

In this study, each profile question was constitute by the two tiers of each question (for example, profile PQ1 was constitute by Q1 and Q1.1) and was analysed by comparing simple congruency coefficient of the profile from undergraduate and master students with the congruency coefficient of the ideal profile. The ideal profile has a value that corresponds to score 4 in a scale which represents a configuration of the values of the questions. In this scale the value 4 is attribute to the answers where both tiers are correct; 3 for answers where first tier are correct and the second is incorrect; 2 for answers where both tiers are incorrect; 1 for answers where there are contradictions and 0 for the answers *don't know*.

The configurational similarity coefficient was also obtained to measures the grade of correspondence of the high and low values between profiles, from undergraduate and master students answers.

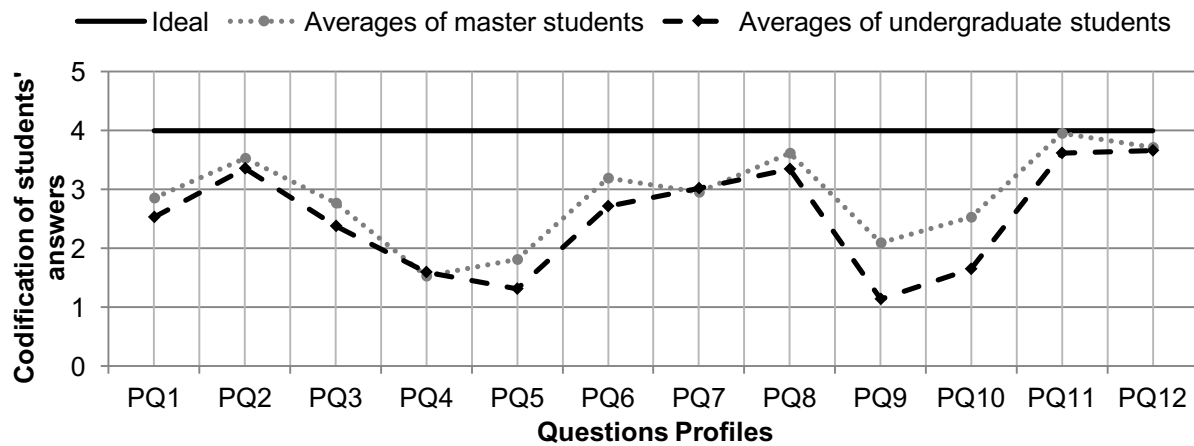


Figure 5.4. Comparison between the ideal profile and the profiles of each group of students (undergraduate and master students).

Figure 5.4. shows the ideal profile and its comparison with profiles from each group of students, undergraduate and master students. Profiles result from the averages of the answers of undergraduate and master students, for all the twelve questions that constitute the profiles. The simple congruency coefficient for undergraduate students (C_u) was $C_u = 0.44$ and for master students (C_m) was $C_m = 0.54$. In both cases, the values suggest a moderate congruency with the ideal profile. However, the responses of master students have a slightly better result, and it shows that, in general, these students had a highest number of correct answers in each question, and their mental models are more consistent with scientific knowledge.

The configurational similarity coefficient (CS) obtained was $CS = 0.50$ which means a moderate similarity in some of the high and low points of the two groups that answered the TTDT. So, the value of the configurational similarity coefficient gives more reliability to the study, because it shows that the grade of correspondence between the answers of undergraduate and master students is moderate, which allow us to corroborate that the results are credible and adequate to the study.

5.1.5. Conclusions

After the data analysis it is possible to formulate some conclusions, which are presented below: (1) Undergraduate students have more inconsistent mental models than master students, mainly concerning the factors which influence the seismic risk, such as hazard and vulnerability, and soils characteristics which influence the intensity of earthquakes, soil composition, type of rock and its consolidation, because these are the issues that are less discussed in high school. (2) Results show that the majority of students, including undergraduate and master students, cannot distinguish hazard from vulnerability and this is the main factor responsible for the construction of inconsistent mental models, as well as soils properties and the characteristics of rocks which constitute them. (3) In general, students recognized the seismic effects on soils and buildings, although many of them present mental models which are scientifically inconsistent, mainly undergraduate students. (4) According to the comparison of the profiles of undergraduate and master students it was observed that master students mental models are more closer to the ideal profile, which is supported by the value of simple congruency coefficient ($C_m = 0.54$). (5) According all the data was concluded that during the academic formation in the university, teachers present some curricular models to students which allow them to reconstruct their mental models and turn them scientifically consistent ones.

The main educational implications of this study refer to the importance of understanding students' mental models and how students restructure them to promote a meaningful learning and to develop scientific literacy. Evidences show that it is necessary that teachers understand how students construct their own mental models. As corroborated by other authors it is also important that teachers recognize the nature of the models, understand how they should be introduced and mainly, have the ability to develop models that can be fit into classroom activities (Justi & Gilbert, 2002). It is essential that teachers become aware of the need to diagnose students' mental models and to promote meaningful learning helping them to develop methodologies and strategies that allow the restructure of students' mental models and hence promoting scientific literacy autonomously and dynamically.

On the other hand, science teachers sometimes have some inconsistent mental models about many scientific issues. The professional development of science teachers, as well as their professional training, must also involve the restructure of teachers' mental models so as they become competent professionals in the exercise of their functions.

Before starting the training of Biology and Geology teachers is necessary to diagnose alternative conceptions of students, regarding the seismic effects on soils and buildings. With this diagnosis, the teacher can plan their intervention, trying to eradicate the misconceptions and promote meaningful learning. Several authors (Clement, 2000; Gobert & Buckley, 2000; Justi, 2009; Justi & Gilbert, 2002) refer the use of analogue physics models to better explain geological phenomena. After this study, evidences show that both intervention (diagnostic alternative conceptions) and the use of teaching models are exceptional strategies to promote a precise and autonomous learning of geological contents, as the seismic effects on soils and buildings.

5.1.6. References

- Atkinson, G. M. (2004). An overview of development in seismic hazard analysis. *13th World Conference on Earthquake Engineering* (paper no. 5001). Vancouver, Canada.
- Bell, F. G. (2003). *Geological Hazards: Their Assessment, Avoidance and Mitigation*, 62-93, London, UK: Spon Press.
- Cernuzzi, L. & Zambonelli, F. (2008). Profile Based Comparative Analysis for AOSE Methodologies Evaluation. In R. L. Wainwright & H. M. Haddad (Eds.) *Proceedings of the 2008 ACM Symposium on Applied computing* (pp. 60-65). New York: ACM.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041–1053.
- Clement, J. (2008). Student/Teacher Co-construction of Visualizable Models in Large Group Discussion. In J.J. Clement & M. A. Rea-Ramirez (Eds.). *Model Based Learning and Instruction in Science* (pp. 11-22). New York: Springer.
- Coll, R. K., France, B. & Taylor, I. (2005). The role of models and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education*, 27(2), 183-198.

- Francek, M. (2013). A Compilation and Review of over 500 Geoscience Misconceptions. *International Journal of Science Education*, 35(1), 31-64.
- Glade, T., Anderson, M. & Crozier, M. (2005). *Landslide Hazard and Risk*, 41-218, England: Wiley.
- Gobert, J. D. & Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.
- Greca, I. M. & Moreira, M. A. (1997). The kinds of mental representations – models, propositions and images – used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, 19(6), 711-724.
- Greca, I. M. & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and Modeling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11.
- Grotzinger, J. & Jordan, T. (2010). *Understanding Earth*, 337-367, New York: W.H.Freeman and Company.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models. Towards a Cognitive Science of Language, Inference and Consciousness*, 126-146, Cambridge: Harvard University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (1996). Images, Models, and Propositional Representations. In M. De Vega, M. J. Intons-Peterson, P. N. Johnson-Laird, M. Denis & M. Marschark (Eds.) *Models of Visuospatial Cognition*. (pp. 90-127). New York: Oxford University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (2001). Mental models and deduction. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(10), 434-442.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- Justi, R. (2009). Learning how to model in science classroom: key teachers' role in supporting the development of students' modelling skills. *Educación Química*, 32-40.
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2002). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1273-1292.
- Kirkby, K. (2011). 'Easier to address' earth science misconceptions. Retrieved June 28, 2013, from http://serc.carleton.edu/NAGTWorkshops/intro/misconception_list.html.

- Krapas, S., Queiroz, G., Colinvaux, D., Franco, C. (1997). Modelos: Uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, 2(3), 185-205.
- Massa, M., Marzorati, S., Ladina, C. & Lovati, S. (2010). Urban seismic stations: soil–structure interaction assessment by spectral ratio analyses. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8, 723–738.
- Mikkilä-Erdmann, M., Penttinen, M., Antto, E. & Olkinuora, E. (2008). Constructing Mental Models during Learning from Science Text: Eye Tracking Methodology Meets Conceptual Change. In D. Ifenthaler, P. Pirnay-Dummer & J. M. Spector (Eds.). *Understanding Models for Learning and Instruction*. (pp. 63-80). New York: Springer.
- Moreira, M. A., Greca, I. M. & Rodriguez, P. M. L. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza/aprendizaje de las Ciencias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2(3), 37-57.
- Monteiro, A., Nóbrega, C., Abrantes, I. & Gomes, C. (2012). Diagnosing Portuguese Students' Misconceptions about the Mineral Concept. *International Journal of Science Education*, 34(17), 2705–2726.
- Moura, R., Sousa, M., Fernandes, I., Cunha, M., Afonso, D., Paulo, J., Azevedo, F. P., Carvalho, A., Noronha, F. & Borges, L. (2009). GEORISK: A geologic risk map for the World Heritage Area of Porto city (North Portugal). *9th International Multidisciplinary Scientific GeoConference - SGEM2009, Conference Proceedings*, ISBN 10: 954-91818-1-2, Bulgaria (pp. 25-32).
- Moura, R., Umaraliev, R., Dal Moro, G. & Noronha, F. (2012). Preliminary results of dispersive wave vs measurements in the granitic urban environment of Porto, Portugal. *12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference - SGEM2012, Conference Proceedings*, ISBN 1314-2704, Bulgaria (pp. 625-634).
- Moutinho, S., Torres, J., Almeida, A. & Vasconcelos, C., 2013. Portuguese teachers' views about geosciences models. In: P. Membiela, M. Vidal (Eds.) *IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*, Girona, Spain, (pp. 2430-2435).
- Norman, D. A. (1983). Some Observations on Mental Models. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.). *Mental Models* (pp. 7–14). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

- Palmero, M. L. R. (2008). La Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird. In Palmero, M. L. R. *et al.* (Eds.) *La Teoría del Aprendizaje Significativo en la perspectiva de la Psicología Cognitiva* (pp. 46-87). Barcelona: Editorial Octaedro.
- Rook, L. (2013). Mental Models: a robust definition. *The Learning Organization*, 20(1), 38-47.
- Serafini, O. (1981). *Indicadores Cuantitativos de la Distancia Evaluativa: Coeficientes y Congruencia Simple (C) y Ponderada (Cp)*, Brasilia: Brazil.
- Serafini, O. (1988). Análisis de Perfiles en Ciencias de la Educación: Coeficientes ES1 y ES2 de Similaridad Configuracional entre Perfiles Cuantitativos. *Revista Paraguaya de Sociología*, 72, 193–200.
- Torres, J., Moutinho, S., Almeida, A. & Vasconcelos, C. (2013). Portuguese science teachers' views about Nature of Science and Scientific Models. In: P. Membiela, M. Vidal (Eds.) *IX Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias* Girona, Spain (pp. 3541-3546).
- Treagust, D. (1986). Evaluating students' misconceptions by means of diagnostic multiple choice items. *Research In Science Education*, 16, 199-207.
- Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, 10(2), 159-169.

5.2.

Simulating an earthquake and its effects on soils and buildings: A practical activity to disseminate geosciences and its evaluation

Sara Moutinho, Rui Moura & Clara Vasconcelos

In C. Vasconcelos. *Geoscience Education: Indoor and Outdoor* (pp. 43-55), Netherlands: Springer.

5.2.1. Abstract

Model-Based Learning is a teaching methodology that facilitates the learning process through the construction of models, which represent the conceptual models taught in geosciences lessons, promoting the construction of students' scientific knowledge and the development of a meaningful learning. It is crucial that teachers know how to apply it in schools in order to support students' learning process, but also because models are important tools for dissemination of science concepts. Having this in mind, it becomes relevant, beyond the analysis of its importance for both teaching and disseminating geosciences in Portuguese high schools, to provide some guidelines and recommendations about the use of models in geosciences teaching, based on the literature, seeking to prepare teachers to apply the methodology in science lessons, and for making them more informed about the importance of dissemination of science. To achieve this purpose, the attitudes of Portuguese high school students towards the importance of model-based learning in teaching and disseminating the dependence of earthquakes effects on soils and buildings were analysed. The data were collected through a scale for models evaluation named Seismological Models' Evaluation Scale (SMES), applied to 126 students who participated in Faculty of Sciences' Open Days to Schools. This instrument was validated by two experts in geosciences teaching, and its fidelity was also determined.

Keywords

Communication of science, Dissemination of science, Geosciences education, Mental models, Model-Based Learning.

5.2.2. Introduction

5.2.2.1. Communication of Science vs Dissemination of Science

Education is a subject that is currently at the centre of a great debate among psychologists, educators and other experts. However, before any discussion on this subject begins it is important to understand what education is, including the different concepts of education that are allowed to exist, such as formal and informal education.

Formal education is known as the official education, and includes the courses offered in schools with levels, degrees, programs, curricula and diplomas (Gaspar, 1990). This type of education is very important because it is responsible for the development of students' knowledge. However, the construction of knowledge is not restricted to institutions, although the regulation and the transmission of this knowledge had been delegated to school, or to formal education. There is another type of education – informal education, where the learning process occurs without classrooms, timetables or curricula. The knowledge is shared within a socio-cultural interaction that has, as the only necessary and sufficient condition, the presence of those who know and those who want, or need, to know (Gaspar, 1990).

In the case of science, informal education includes museums, exhibitions, scientific activities promoted by specialized institutions and all initiatives with recreational character and involving scientific subjects and the general public. All these initiatives are also important to the process of dissemination of science, because they support the approach of individuals to scientific subjects, reduce the distance between them and contribute to the promotion of citizens' scientific literacy.

In fact, science is present in our everyday lives, having an important role because we all need science for making effective decisions in our lives, as science explains all phenomena that occur in nature and helps people to better understand the world. However, at the individual level, its success depends on the beliefs that individuals bring

to it, which explains why some scientific results are difficult to comprehend. In some cases, communication simply needs to fill the gaps in laypeople's mental models. In other cases, it needs to overcome misconceptions, be they the product of clumsy communication or the result of effective disinformation campaigns (Fischhoff & Scheufele, 2013).

Scientific discourse is *a terrain of competing discourses and practices* (Myers, 2003, p. 267), involving a wide range of genres, from research papers to science news, through which scientific knowledge is constructed and communicated to a plurality of different publics (Luzón, 2013).

Having this in mind, it is necessary to understand two concepts that are related to this subject, both of which are frequently misunderstood. These concepts are communication of science and dissemination of science.

Dissemination of science includes the *use of resources, techniques, processes and products (...) for the placement of scientific, technological and innovation associated with the general public* (Bueno, 2009, p. 162). On the other hand, science communication is related to the transfer of scientific and technological innovations which are designed for specialists in certain fields of knowledge (Bueno, 2009). Although the meanings of these two concepts are different, they are both related to the communication of science to the public, and their interaction.

For the ordinary citizen, one of the main forms children gain contact with science is through education. As adults, the access to science occurs, for example, through the media. In our daily lives, newspapers, magazines and television are fundamental for us to gain knowledge and form an opinion on the developments in research and their implications. The media coverage of science is influenced by a set of rules and selection criteria and construction news (Carvalho & Cabecinhas, 2004).

Some studies usually argue that the gap between science and journalism is due to journalists' indifference to scientists' goals (Peters, 1995) and to a kind of contempt displayed by scientists towards the media. The most important criticisms expressed by scientists against journalists include the lack of understanding, the over-simplification and the sensationalism, while journalists generally criticize scientists for their arrogance and their lack of communication (Colson, 2011). For the exposed, these gaps in communication between scientists and the public is an issue to which is given special importance. In fact, a large part of population does not understand the scientific concepts and cannot recognize the social impact of scientific discoveries (Bensaud-Vincent, 2001). In this sense, the purpose of scientific dissemination is to fill the gaps between science and the public, and is sometimes erroneously seen as a secondary activity which

merely translates scientific language into a simple everyday language (Bensaud-Vincent, 2001).

According to Myers (2003), there are several assumptions created in this context:

(i) scientists and scientific institutions are the authorities on what constitutes science; (ii) public sphere is, on scientific topics, a blank slate of ignorance on which scientists write knowledge; (iii) this knowledge travels only one way, from science to society; (iv) the content of science is information contained in a series of written statements; (v) in the course of translation from one discourse to the other, this information not only changes textual form, but is simplified and distorted. (p. 266)

According to Moutinho and collaborators (2014b), nowadays it is defended the existence of mediators that promote a closer relationship between science and the public. Some of them are scientists themselves, who increasingly recognize their public duty, and therefore their scientific practice has evolved to make them respond to the need to improve public access to science, and to promote activities that foster the understanding of science by people (Martín-Sempere, Garzón-García & Rey-Rocha, 2008).

Advances in science and technology in the last decades have changed the communication process, contributing to the improvement of academic skills in dissemination of science. The effectiveness of this communication depends on the level of comprehension of the target. Consequently, dissemination of science activities must follow principles of science communication, differentiating messages according to goals and target audiences. Therefore it is important to define who is the receiver, how to speak his/her language, how to stimulate his/her curiosity and how to listen to others (Epstein, 1998).

For most people, the reality of science is that which is presented by the media. People normally develop their scientific knowledge through the media resources, and not through direct experience or previous formal education. This situation occurs because the information that is imparted by journalists is simpler than the information that is transmitted by scientists. In fact, many scientists are suspicious about journalists and accuse their reports of infidelity, oversimplification or even sensationalism. On the other hand, journalists criticize the way science is presented by scientists, universities and technical institutions, arguing that they provide very intricate, inappropriate or incomprehensible information (Epstein, 1998).

This situation is very delicate, because it could generate ineffective communication, and it could be costly to science as well as to society. Science requires

the publics' support, and that depends on how much the public trusts and values science. Although scientists may know more than anyone about the facts and uncertainties, applications of science can raise complex ethical and social questions on which reasonable people may disagree. If scientists want to be effective in their communication, they must understand the perspectives of interest groups in debates over decisions that require scientific expertise (Colson, 2011). The more effectively scientists have built bridges with the rest of society, the better chance they have of getting an audience for their work (Luzón, 2013).

In this context, there are authors that reject the traditional view of science dissemination, where there are only two clearly defined communities: scientists and the general public. In this perspective, the public is viewed as passive and ignorant, not contributing to decisions affecting the progress of science. Science communication occurs in a linear, one-way process (Bucchi, 2008, p. 58) in which discourse for specialists and discourse for the lay audience can be sharply separated, and the dissemination of scientific discoveries is a simplified version of the research paper (Luzón, 2013).

Cloître and Shinn (1985) distinguish four main stages in the process of scientific communication: (i) intraspecialist level, which includes papers published in scientific journals; (ii) interspecialist level, which involves interdisciplinary dissemination, for example papers published in journals like *Nature* or *Science*; (iii) pedagogical level, which refers to scientific textbooks; and (iv) popular level, or dissemination addressed to the general public, mainly done by the media, for example science news in the daily press. In this model, dissemination is regarded not as a translation or simplification of scientific discourse, but as a discursive recontextualization for a less specialist audience, including scientists in other areas of knowledge (Luzón, 2013).

However, many scientists are still reluctant to become involved in public communication of scientific information. This reluctance results from a combination of reasons: (i) communication to the public is generally not seen by scientists as a basic part of their work, and is an activity regarded by scientists as neutral prospects for promotion; (ii) negative reaction by colleagues; (iii) lack of training in public communication; (iv) and the need to adapt their work habits and communication skills to a public about whom they do not know much (Martín-Sempere et al., 2008).

At the present, mass media are having a transformative impact on the public dissemination of science, blurring the boundaries between the public and the professional spheres of scientists (Trench, 2008; Luzón, 2013).

Given the increasingly important role of media as a channel for the public dissemination of science, we need to understand how scientific knowledge is mediated and constructed in these media, that is, how scientific discourse is recontextualized in media (Luzón, 2013).

Presently, there are others forms of public interaction with science and scientist that can be conceived as less mediated than the media, which includes science museums, scientific exhibitions or scientific activities open to public (Carvalho & Cabecinhas, 2004).

5.2.2.2. The importance of Mental Models and Model-Based Learning in geosciences education

All citizens develop mental models that lead them to observe, understand and explain the world around them (Kurnaz & Eksi, 2015). Thus, mental models are mental representations of the world, correlations of the reality which constitute working models, constructed through propositions and images that can be related to the model (Moutinho, Moura & Vasconcelos, 2014a). They are personal since they are constructed by individuals, and because of this, they are different from one person to another, since they are based on their life experiences, perceptions, and understandings of the world (Jones, Ross, Lynam, Perez & Leitch, 2011).

Moreover, students develop their scientific knowledge through the construction of mental models, which help them to develop scientific reasoning and make decisions, being the basis of individual behaviours (Jones *et al.*, 2011).

In fact, students construct their personal mental models for a theory with all knowledge that was developed in the learning process, but, normally, these mental models are not precise, complete and scientifically consistent (Liu, 2005), making it necessary for teachers to promote their restructuring, in order to make them more congruent to scientific models (Moutinho, Torres, Almeida & Vasconcelos, 2013).

According to Moutinho and collaborators (2014a), scientific models correspond to specific models that result from the creation of a scientist to represent an idea, object, event, process or a system. They are scientifically accepted models and reflect the representation of the shape of reasoning of a scientist (Justi, 2006). These models are the bridge between a theory and a phenomenon, as a scientific theory does not have a direct correspondence to real-world phenomena which are too complex (Torres & Vasconcelos, 2015).

Given the complexity of scientific models that reflect the scientific phenomena and the thinking of scientists, these models cannot be presented to the students at school because they are too abstract and difficult to understand (Torres, Moutinho, Almeida & Vasconcelos, 2013). As such, simpler kinds of models – teaching models – were developed with the purpose of helping students to learn some aspect of a scientific model, which could include drawings, simulations and analogies (Justi, 2006). They support the teaching mediation processes responsible for the transformation of scientific knowledge into school knowledge, lending consistency to the students' mental models (Moutinho et al., 2014a).

For the exposed, all these models are presented to students in school through a teaching methodology, named Model-Based Learning. This methodology is responsible for developing conceptual tools in order to build students' scientific knowledge (Lopes & Costa, 2007), and promote their scientific literacy. It involves the construction of models that aim to recreate a physical phenomenon seeking to respond to problem situations (Louca, Zacharia & Constantinou, 2011).

Having this in mind, Model-Based Learning assumes an important role in science education, as it is a teaching methodology which involves the construction of models that aim to recreate a physical phenomenon – scientific model – seeking to respond to problem situations. In this context, models are powerful tools that scientists use in developing scientific knowledge.

As a result, models and Model-Based Learning in science classes may contribute to the understanding of different aspects of science, while demonstrating how science operates and how scientists work (Crawford & Cullin, 2004; Torres & Vasconcelos, 2015). Models and modelling have such an important role in scientific activity that they play a major part in the understanding of many aspects of scientific inquiry (Torres, Moutinho & Vasconcelos, 2015). They lead students to analyse and understand many relationships between variables which can represent the scientific phenomenon and recreate its behaviour (Louca et al., 2011).

Thus, Model-Based Learning provides a good change for restructuring knowledge because it induces a cognitive conflict by carefully introducing facts which contradict the students beliefs (Pirnay-Dummer, Ifenthaler & Seel, 2012), an event which is necessary to construct new knowledge. As such, many authors contend that models contribute to an improved comprehension of scientific concepts and knowledge, and also to a better understanding of scientists' activities and the nature of science (Torres & Vasconcelos, 2014).

Gilbert and Ireton (2003) claim that the exposure to multiple models contribute to a richer mental model construction. In fact, in science education it is possible to use diverse models that highlight different characteristics of the phenomenon (Vasconcelos, Moura, Torres, Moutinho & Lima, 2015).

Given the recognized importance of models and Model-Based Learning in geosciences education, a group of masters' degree students in Biology and Geology Teaching developed some different models, and adapted them to Portuguese science curricula. The purpose of these models was to simulate and explain some processes related to seismology and natural hazards, included in the curriculum of Biology and Geology (in high school) in Portugal. All these models were presented to high school students, and science teachers, in a playful and dynamic activity, in the context of informal education, developed for the Faculty of Sciences' Open days to Schools.

5.2.2.3. Faculty of Sciences' Open Days to Schools: A practical activity to disseminate geosciences

The Faculty of Sciences of University of Oporto annually organizes the *Open Days to Schools*, an event which promotes contact between high school students and researchers from different scientific areas (Moutinho, Moura & Vasconcelos, 2014b). During this two-day event, a number of laboratories of the institution are made available for high school students and their science teachers, so that they can come in contact with the research that is carried out by the faculty, and interact with researchers, graduate students and many techniques and technologies that are developed and applied in the researches.

This initiative usually has great support from the public because it helps students to understand scientists' work, how they develop their investigations, and how they create science. Moreover, the Open Days to Schools are also important for the dissemination of science, through the contact between scientists and the public, and constitute a good exercise for both researchers and students: for students it is an enriching experience because they gain contact with specialists from diverse scientific areas, and can observe and learn about the different investigations that are developed in the institution. On the other hand, it is also important for scientists, because through the contact with the public to present and explain the product of their work, they gain a better understanding of how to adapt their speech so that the message that they transmit can be clear and objective. In doing this they also develop their communication skills.

Being sensitive to the importance of the dissemination of science to high school students, but also the importance of models in the promotion of scientific knowledge, an activity was developed with the purpose of presenting and discussing the historical phenomenon of the Earthquake in Lisbon in 1755, according to a scientific context, based on the application of three types of models to explore scientific concepts related to seismology.

Models recreate the seismic effects on soils and buildings: (i) a model simulating the seismic effects on buildings as a function of their distance to the epicentre (figure 5.5.); (ii) a seismic shaking table, which could handle multiple variables that influence the effect of earthquakes on buildings (figure 5.6.); (iii) and a model representing the effect of earthquakes on soils in moving strands zones (figure 5.7.).



Figure 5.5. Seismic effects on buildings as a function of their distance to the epicentre.

Figure 5.5. illustrates a model that enables the simulation of the seismic effects on three buildings placed at different distances from the epicentre, which is represented by metal pendulums, all of them in the same position. The clash between each pendulum and the balls, which are positioned between the pendulums and the buildings, simulates an earthquake and allows students to observe the propagation of seismic waves, the effects caused when they reach the buildings, and to evaluate the damages.

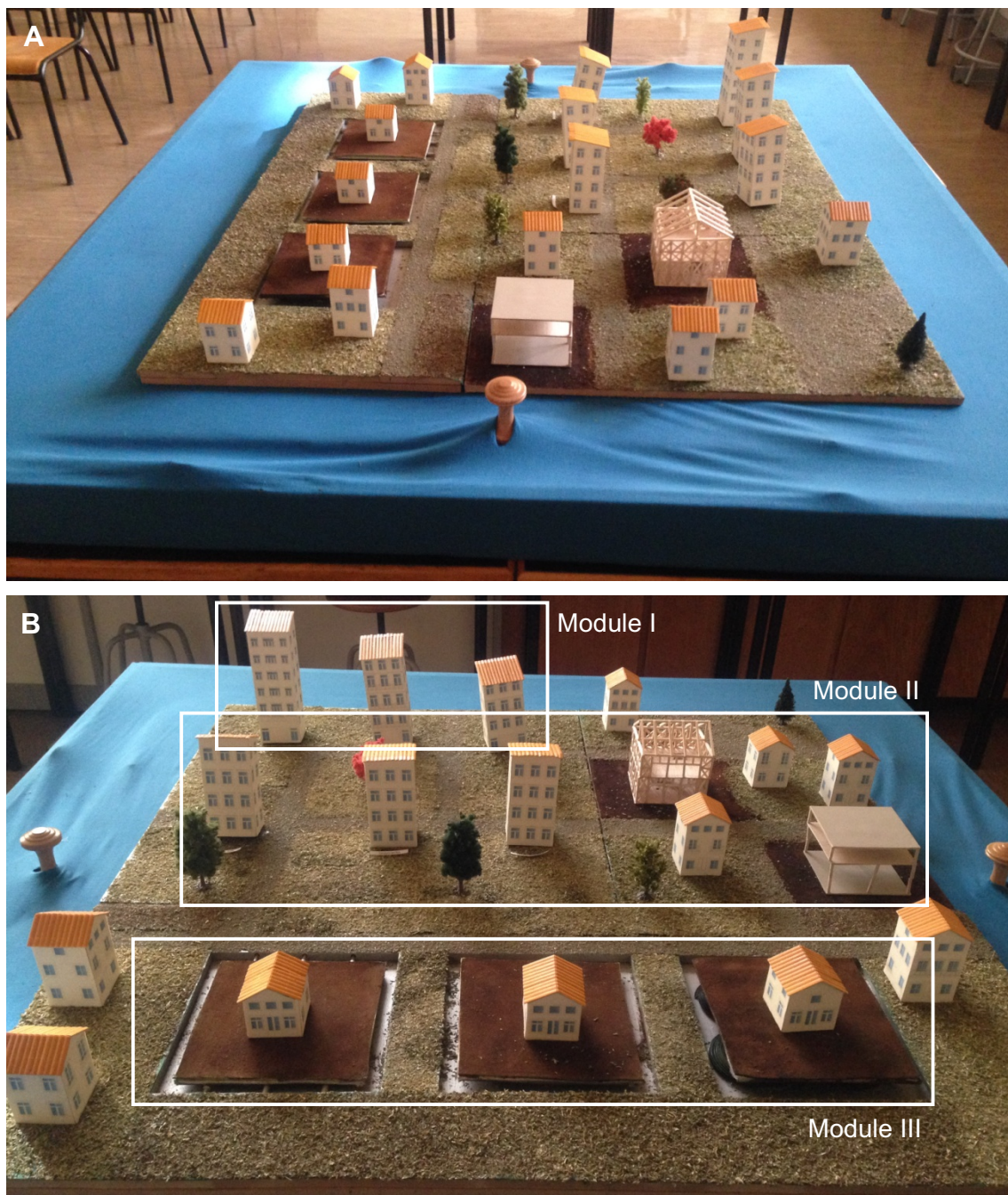


Figure 5.6. Seismic shaking table (A) with the indication of the three modules (B).

This model (figure 5.6.) is constituted by three modules which simulate different situations: (i) influence of the height and type of materials used in buildings on its response to an earthquake event; (ii) importance of structural reinforcement in constructions – *Pombal cage* – for building integrity protection during an earthquake and; (iii) the influence of the base isolation in buildings during a seismic episode to minimize damages. To simulate the earthquake, the seismic table is horizontally shaken, allowing students to observe the effects occurred in all modules.

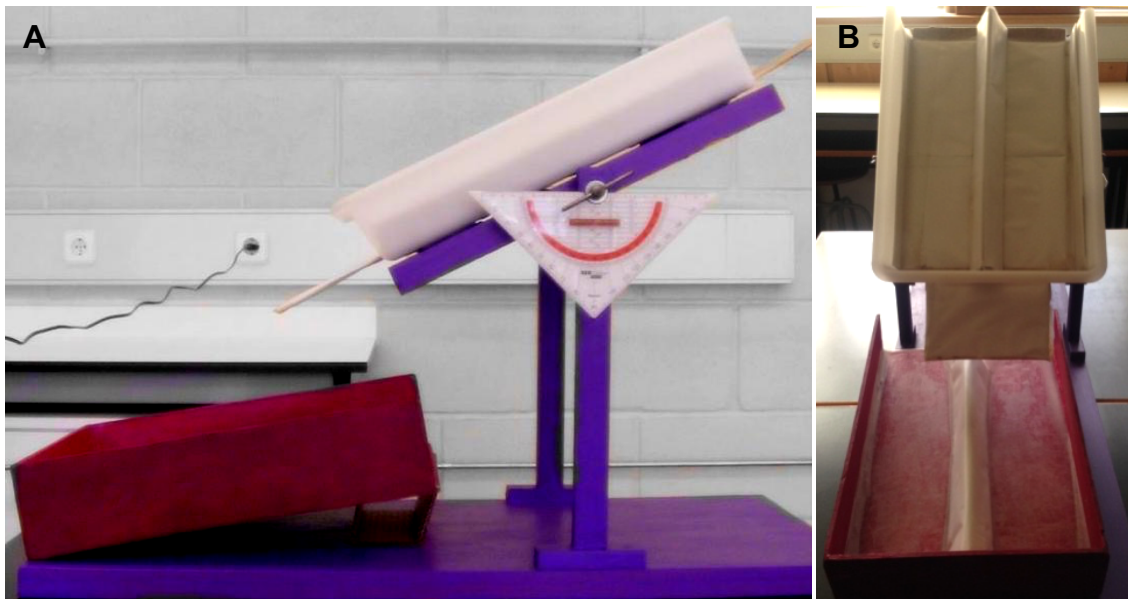


Figure 5.7. Soil movement on strand zones: side view (A) and front view (B).

The last model (figure 5.7.) represents the effect of seismic waves, water and tilt (horizontal and a 30° angle) in clayey and sandy soils. To simulate the earthquake two massage devices are placed at the base of the mobile platform causing the vibration of the platform and allowing students to observe the behaviour of both soils materials at the same time.

After analyzing all three models, only the third can be considered an analogue model, because the materials used behave analogously to reality (sand and clay), and the simulated situations recreate the conditions to which the materials are subject in nature (for example, the slope).

5.2.3. Methodology

The purpose of this study is to analyse the attitudes of Portuguese high school students towards the importance of Model-Based Learning in teaching and disseminating the seismic effects on soils and buildings.

The data were collected through a *Seismological Models' Evaluation Scale* (SMES), applied to students. The scale was constituted by ten items related to the importance of each type of model in study, and each one should be classified in a scale with five points (from 1 – Totally disagree to 5 – Totally agree).

Table 5.4. presents the description of each one of the ten items of *Seismological Models' Evaluation Scale*, applied in this study to evaluate each one of the three types of models presented to students on Faculty of Sciences' Open Days to Schools.

Table 5.4. Description of the items of Seismological Models' Evaluation Scale (SMES).

Items	Description
1	It allows the comprehension of how earthquakes occur.
2	It presents the characteristics of seismic waves and how they propagate.
3	It answers questions about the behaviour of some materials.
4	It helps to understand the seismic effects on soils and buildings.
5	It facilitates the approach to natural phenomena.
6	It allows manipulating some variables involved during the earthquake episode.
7	It helps in the construction/restructuring of students' mental representations of the phenomenon.
8	It allows students to make predictions about seismic phenomena.
9	It helps in solving theoretical and practical problems.
10	It allows the testing of ideas.

The content validity was ensured by the analysis of specialty literature for supporting the formulation of the scales' items, based on previous studies. The structure of the instrument was based on the *Molecular Representation Scale* of Treagust and his collaborators (2004). Finally, the items were also validated by two specialists in the

teaching of geosciences, which led to vocabulary changes and improvements in its definitive structure.

SMES' fidelity was determined by calculating Cronbachs' alpha that showed high internal consistency values: (i) 0.80 for the subscale model of the distance to the epicentre (figure 5.5.); (ii) 0.80 for the subscale of the seismic shaking table model (figure 5.6.) and; (iii) 0.81 for the subscale of soil movement on strand zones (figure 5.7.). These values of consistency (0.80) are satisfactory, according to Kline (2000) and Nunnally and Bernstein (1994), especially because of the small number of items.

The results of its validation were presented in a conference related to geosciences that occurred in the Faculty of Sciences of University of Oporto, in Portugal (Moutinho et al., 2014b).

The sample of the study was a convenience sample, constituted by 126 students from 10th, 11th and 12th grades, which were in a course of Science and Technologies. Table 5.5. presents the data related to the students from the study sample, distributed by grade and by gender.

Table 5.5. Characterization of the students from the study sample. (n=126)

	10 th		11 th		12 th		Total	
	F	%	F	%	f	%	f	%
Female	35	27.78	28	22.22	14	11.11	77	61.11
Male	34	26.98	8	6.35	7	5.56	49	38.89
Total	69	54.76	36	28.57	21	16.67	126	100

Note: f – frequency; % – percentage.

5.2.4. Results and discussion

After collecting the data, they were analysed through a 23rd version of the statistical program SPSS. In relation to the model of the seismic effects on buildings due their distance to the epicentre, students recognized some of its advantages, such as: *10 – the model allows to testing ideas* (f=83; 65.9%); *4 – it helps to understand the seismic effects*

on soils and buildings (f=69; 54.8%); and 2 – *it presents the characteristics of seismic waves and how they propagate* (f=60; 47.6%). However, some students believe that this model does not *answer questions about the behaviour of some materials* (f=12; 12.5%). In fact, this model only simulates the effects of earthquakes on buildings according their distance to the seismic epicentre.

Moreover, students consider that the seismic shaking table: 10 – *allows to testing ideas* (f=104; 82.5%); 4 – *the model helps to understand the seismic effects on soils and buildings* (f=93; 73.8%); 3 – *answers questions about the behaviour of some materials* (f=89; 70.6%); and 1 – *the model allows the comprehension of how occur earthquakes* (f=86; 68.3%).

Finally, students recognize that the model of soil movement on a strand zone allows 3 – *the model answers questions about the behaviour of some materials* (f=93; 73.8%); 10 – *the model allows testing ideas* (f=88; 69.8%); and 9 – *It helps in solving theoretical and practical problems* (f=65; 51.6%). Some students refer that this model does not 2 – *present the characteristics of seismic waves and how they propagate* (f=8; 6.3%), which is true, since the model only simulates the behaviour of soils during an earthquake.

5.2.5. Conclusions

The results let us conclude that students recognize the importance of models to disseminate science because they help them to test ideas and hypothesis. Moreover, they recognize that each model has specific characteristics according to its purpose, as we could see with the three types of models that were applied.

In fact, according to the results, it is possible to admit that the use of models (Model-Based Learning) is an important methodology to disseminate science as it helps to transform the scientific phenomena into something more concrete so that it is simple and easy-to-understand by students or anyone else. Considering that dissemination of science refers to the interaction between scientists and a public with a vague scientific

knowledge, models could facilitate the visualization of the phenomena and help to restructure the publics' mental models about the process. However, the authors consider that is important that teachers comprehend that models are representations of how phenomena occur, and they could change over time because they are constructed during a long period through hard work of many scientists. Thus, it is also important that teachers understand that scientific ideas can be explained through a model, but there are many other models that can represent the same ideas, and this explains why sometimes different scientists use distinct models to describe scientific phenomena.

All these considerations are necessary for teachers to come to understanding about how they should develop models that they can use in their classrooms, to teach scientific concepts and to promote the development of students' scientific knowledge. If models are well-adapted and applied to a certain class, teachers can: (i) promote the restructuring of students' mental models, and make them more congruent with curricular models; (ii) improve students' interest on scientific subjects and their motivation in science classes; (iii) support students' construction of knowledge and the development of their scientific literacy, making them more informed citizens and preparing students for their future lives and; (iv) disseminate scientific concepts and phenomena to students, who are a younger public and will be the citizens of the future.

Finally, the authors would like to emphasize the fundamental role of teachers as educators and disseminators of science, as their teaching practice is based on presenting and explaining scientific concepts to students, aiming to support their construction of knowledge. In this sense, teachers are accustomed to adapt scientific language so that it is more easily understood and internalized by students, highlighting their valences in the field of dissemination of science.

5.2.6. References

- Bucchi, M. (2008). Of deficits, deviations and dialogues: Theories of public communication of science. In M. Bucchi & B. Trench (Ed.), *Handbook of public communication of science and technology* (pp. 57-76). London, UK: Routledge.

- Bensaude-Vincent, B. (2001). A genealogy of the increasing gap between science and the public. *Public Understanding of Science*, 10, 99-113.
- Bueno, W. da C. B. (2009). Jornalismo científico: revisitando o conceito. In C. Victor, G. Caldas & S. Bortoliero (Ed.), *Jornalismo científico e desenvolvimento sustentável* (pp. 157-178). São Paulo: All Print.
- Carvalho, A. & Cabecinhas, R. (2004). Comunicação da ciência: perspectivas e desafios. *Comunicação e Sociedade* 6, Braga e Campo das Letras: Centro de Estudos de Comunicação e Sociedade da Universidade do Minho, 5-10.
- Cloître, M., & Shinn, T. (1985). Expository practice: Social, cognitive and epistemological linkages. In M. Cloître & T. Shinn (Ed.), *Expository science: Forms and functions of popularisation* (pp. 31-60). Dordrecht, Netherlands: Reidel.
- Colson, V. (2011). Science blogs as competing channels for the dissemination of science news. *Journalism*, 12(7), 889-902.
- Crawford, B. A., & Cullin, M. J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science. *International Journal of Science Education*, 26, 1379-1401.
- Epstein, I. (1998). Comunicação da Ciência. *São Paulo em perspectiva*, 12(4), 60-68.
- Fischhoff, B., & Scheufele, D. A. (2013). The science of science communication. *Colloquium of the National Academy of Sciences*, 110(3), 14031-14032.
- Gaspar, A. (1990). A educação formal e a educação informal em Ciências. *Ciência e Público*, 171-183.
- Gilbert, S., W., & Ireton, S. W. (2003). *Understanding Models in earth and Space Science*, United States of America: NSTA Press, 1-113.
- Jones, N. A., Ross, H., Lynam, T., Perez, P., & Leitch, A. (2011). Mental models: an interdisciplinary synthesis of theory and methods, *Ecology and Society*, 16(1), 1-46. Retrieved from <http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss1/art46/>.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173–184.
- Kline, P. (2000). *The handbook of psychological testing*. 2nd Edition, London: Routledge.
- Kurnaz, M. A., & Eksi, C. (2015). An Analysis of High School Students' Mental Models of Solid Friction in Physics, *Educational Sciences: Theory & Practice*, 15(3), 787-795.

- Liu, S. C. (2005). Models of “The Heavens and the Earth”: An investigation of German and Taiwanese students’ alternative conceptions of the Universe. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3, 295–325.
- Lopes, J. B., & Costa, N. (2007). The Evaluation of Modelling Competences: Difficulties and potentials for the learning of the sciences. *International Journal of Science Education*, 29(7), 811-851.
- Louca L. T., Zacharia, Z. C., & Constantinou, C. P. (2011). In Quest of Productive Modeling-Based Learning Discourse in Elementary School Science, *Journal of Research in Science Teaching*, 48(8), 919-951.
- Luzón, M. J. (2013). Public Communication of Science in Blogs: Recontextualizing Scientific Discourse for a Diversified Audience. *Written Communication*, 20(10), 1-30.
- Martín-Sempere, M. J., Garzón-García, B., & Rey-Rocha, J. (2008). Scientists’ motivation to communicate science and technology to the public: surveying participants at the Madrid Science Fair. *Public Understanding of Science*, 17, 349-367.
- Moutinho, S., Moura, R., & Vasconcelos, C. (2014a). Mental Models about Seismic effects: Students’ profile based comparative analysis. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 1-25. doi: 10.1007/s10763-014-9572-7.
- Moutinho, S., Moura, R., & Vasconcelos, C. (2014b). Modelação em Geociências nos Dias Abertos às Escolas. *IX Congresso Nacional de Geologia, 2.º Congresso de Geologia dos países de língua Portuguesa*. Porto: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 205.
- Moutinho, S., Torres, J., Almeida, A., & Vasconcelos, C. (2013). Portuguese teachers’ views about geosciences models. *Enseñanza de las Ciencias* (Volume Extra) “La investigación en didáctica de las ciencias. Un compromiso con la sociedad del conocimiento”, IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, 2430–2435.
- Myers, G. (2003). Discourse studies of scientific popularization: Questioning the boundaries. *Discourse Studies*, 5(2), 265-279.
- Nunnally, J. C., & Bernstein, I. H. (1994). *Psychometric theory* (3rd Ed.), New York: McGraw-Hill.

- Peters, H. P. (1995). The interaction of journalists and scientific experts: Co-operation and conflict between two professional cultures. *Media, Culture & Society*, 17(1), 31-48.
- Pirnay-Dummer, P., Ifenthaler, D., & Seel, N. M. (2012). Designing Model-Based Learning Environments to support Mental Models for Learning, In D. Jonassen & S. Land (Ed.). *Theoretical Foundations of Learning Environments*, (2nd Ed.) (pp. 66-94). New York, USA: Routledge.
- Torres, J., Moutinho, S., Almeida, A., & Vasconcelos, C. (2013). Portuguese science teachers' views about Nature of Science and Scientific Models. *Enseñanza de las Ciencias* (Volume Extra) "La investigación en didáctica de las ciencias. Un compromiso con la sociedad del conocimiento", IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, 3541–3546.
- Torres, J., Moutinho, S., & Vasconcelos, C. (2015, *in press*). Nature of Science and Scientific Models in Geoscience Education: Science teachers' and students' views. *Journal of Turkish Science Education*, 12(4).
- Torres, J., & Vasconcelos, C. (2014). Models in Geoscience classes: Prospective Science Teachers' opinions after an Intervention Programme. *7th International Conference on Geoscience Education*, 5-9 September 2014 (pp. 83). India: University of Hyderabad.
- Torres, J., & Vasconcelos, C. (2015). Nature of science and models: Comparing Portuguese prospective teachers' views. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 2015, 11(6), 1473-1494.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. D., & Mamiala, T. L. (2004). Students' Understanding of the Descriptive and Predictive Nature of Teaching Models in Organic Chemistry. *Research in Science Education*, 34, 1-20.
- Trench, B. (2008). Internet: Turning science communication inside-out. In M. Bucchi & B. Trench (Ed.), *Handbook of public communication of science and technology* (pp. 185-198). London, UK: Routledge.
- Vasconcelos, C., Moura, R., Torres, J., Moutinho, S., & Lima, A. (2015). Replica of a shaking table from the XIX century: a workshop applied to higher education students. In *Proceeding of the Scientific GeoConference SGEM2015, 18-24 June 2015* (pp. 1045-1052). Albena, Bulgaria.

5.3.

Modelação em Geociências nos Dias Abertos às Escolas

Sara Moutinho, Rui Moura & Clara Vasconcelos

Comunicações Geológicas, 101, Especial III, pp. 1325-1328.

5.3.1. Resumo

A Faculdade de Ciências da Universidade do Porto organiza anualmente os Dias Abertos às Escolas, uma iniciativa que procura fomentar o contacto dos alunos do ensino secundário com investigadores de diversas áreas científicas. Por se reconhecer elevado potencial à modelação na promoção da construção do conhecimento dos alunos, através do recurso a modelos que recriam fenómenos geológicos, os participantes contactaram com modelos relativos ao efeito dos sismos em solos e edifícios. Pretendeu-se averiguar se o uso de modelos na disseminação da Geologia auxilia os alunos na construção do seu conhecimento em temáticas de sismologia, tendo-se aplicado uma escala de avaliação de modelos de sismologia a 126 alunos do ensino secundário de várias escolas do norte de Portugal, que participaram na atividade dos Dias Abertos às Escolas. Verificou-se que os alunos consideram que os modelos permitem clarificar e reestruturar os conhecimentos que possuem sobre os fenómenos geológicos, realçando-se a importância do recurso à modelação na promoção da aprendizagem significativa.

Palavras-Chave

Modelação; Geociências; Sismologia; Dias Abertos às Escolas.

Geoscience Modelling in Opens Days to Schools

5.3.2. Abstract

Faculty of Sciences of University of Porto annually organizes the Open Days to Schools, which allow the contact of high school students with researchers from different scientific areas. By recognizing a high potential to modelling, which promotes the construction of students' knowledge through models that recreate geological phenomena, participants contacted with some models that simulated the effect of earthquakes on soils and buildings. We tried to understand if the use of models in the dissemination of Geology helps students to build their scientific knowledge, concerning seismology contents. A seismology model evaluation scale was applied to 126 high school students from schools of northern Portugal, which participated in the activities at Open Days to Schools. The results shown that students consider that models help to clarify and to restructure their knowledge about geological phenomena, highlighting the importance of modeling in the promotion of a meaningful learning.

Keywords

Modelling; Geoscience; Seismology; Open Days to Schools.

5.3.3. Introdução

Apesar da evolução das sociedades atuais, as lacunas existentes na comunicação entre os cientistas e o público é um problema ao qual se tem dado especial importância. O facto de uma grande parte da população não compreender os conceitos científicos faz com que, não consigam acompanhar o impacte social das descobertas científicas (Bensaude-Vincent, 2001). A comunicação científica destina-se a colmatar a distância entre a ciência e o público e, por vezes é vista como uma atividade secundária que se limita a traduzir a linguagem científica em linguagem comum (Bensaude-Vincent, 2001). Por isso, atualmente defende-se a existência de mediadores que promovam uma aproximação entre a ciência e o público, sendo alguns deles os próprios cientistas que, cada vez mais reconhecem o seu dever público, e por isso a sua prática científica tem evoluído no sentido de os fazer responder à necessidade de melhorar o acesso do público à ciência e, promover atividades que melhoram a compreensão da ciência pelos sujeitos (Martin-Sempere et al., 2008).

A Faculdade de Ciências da Universidade do Porto promove todos os anos dois Dias Abertos às Escolas, período no qual os vários laboratórios da instituição estão disponíveis para a visitação de alunos do ensino secundário, para que estes possam contactar com alguma da investiga o que   levada a cabo pela universidade. Num dos labor rios disponíveis foram apresentados aos participantes três modelos sobre o efeito dos sismos em solos e edifícios: i) um modelo que simulava o efeito dos sismos em edifícios em fun o da sua distância ao epicentro; ii) uma mesa sísmica, modelo onde era possível manipular várias variáveis que influenciam o efeito dos sismos nos edifícios; iii) e um modelo que representava o efeito dos sismos no movimento de solos em zonas de vertentes. A principal finalidade desta atividade consistiu em explicar alguns conteúdos científicos no domínio da sismologia de uma forma dinâmica e atrativa para os alunos.

Pelo exposto, pretende-se com este trabalho averiguar se o uso de modelos na dissemina o da Geologia auxilia os alunos na constru o do seu conhecimento em temáticas da sismologia, como o efeito dos sismos em solos e edifícios.

5.3.4. Enquadramento Teórico

Face à crescente importância atribuída à aprendizagem significativa no ensino das ciências e reconhecendo-se a necessidade de serem implementadas metodologias que auxiliem os alunos na construção do seu conhecimento (Greca & Moreira, 2000), a modelação desempenha um papel fulcral. É utilizada para explicar conceitos de ciência abstratos e não-observáveis, embora alguns modelos possam ser utilizados superficialmente, tornando-se difíceis de entender (Treagust et al., 2002). Além disso, admite-se que os alunos têm o seu próprio ponto de vista pessoal dos modelos científicos – modelos mentais, que geralmente são cientificamente inconsistentes e poderem gerar concepções alternativas (Moutinho et al., 2013; Treagust et al., 2002).

A modelação, enquanto metodologia de ensino, assume um papel importante na construção do conhecimento geológico, na medida em que promove a compreensão da dinâmica dos processos naturais e as variáveis que nele intervêm (Bolacha et al., 2011), podendo auxiliar o processo de reestruturação dos modelos mentais dos alunos, na tentativa de se tornarem mais consistentes com os modelos científicos. Reconhece-se elevada potencialidade no ensino suportado na modelação, que através da utilização de modelos desenvolvidos com base nos modelos cientificamente aceites possibilita não só a construção do conhecimento e promoção da literacia científica dos alunos, mas também o desenvolvimento da aprendizagem significativa (Gobert & Buckley, 2000), pois permite *aprender ciência, aprender sobre ciência e, aprender como fazer ciência* (Justi & Gilbert, 2002).

Se os alunos desenvolverem a capacidade de produzir, testar e avaliar os modelos físicos usados na modelação, bem como sua dinâmica, eles podem melhorar o seu interesse e ter uma compreensão mais profunda sobre as mudanças reais que ocorreram no curso da história da Terra (Deus et al., 2011), embora, por vezes este processo possa exigir um certo grau de abstração, especialmente se o fenómeno estudado estabelecer uma intrincada rede de relações com outros fenómenos naturais (Bolacha et al., 2011).

Um ensino baseado na modelação poderá ser a chave para a reestruturação dos modelos mentais incongruentes com os modelos curriculares veiculados na sala de aula que, pela sua exigência conceptual, necessitam que o professor recorra a modelos para o ensino na tentativa de facilitar a mediação didáctica necessária à reconceptualização.

5.3.5. Metodologia

De acordo com o propósito da investigação, realizou-se um estudo de avaliação com a aplicação de uma escala para avaliação de três modelos que simulavam o efeito dos sismos em solos e edifícios. Os modelos foram apresentados a 126 alunos do ensino secundário, de várias escolas do norte de Portugal e que participaram voluntariamente nas atividades dos Dias Abertos às Escolas. A amostra era constituída por 69 alunos do 10º ano (35 do sexo feminino; 34 do sexo masculino), 36 do 11º ano (28 do sexo feminino; 8 do sexo masculino), e 21 do 12º ano (14 do sexo feminino; 7 do sexo masculino).

A validade de conteúdo da escala foi assegurada pela consulta da literatura da especialidade. Assim, foram construídos itens com base em estudos anteriores como, por exemplo Grosslight e colaboradores (1991), Gilbert (1991), Francek (2013) e, especialmente, a escala *Molecular Representation* de Treagust e colaboradores (2004).

A validade dos itens foi ainda assegurada pela sua aplicação a dois especialistas no ensino das geociências, que conduziram a alterações de vocabulário e melhorias na sua estrutura definitiva.

A fidelidade da escala foi determinada pelo cálculo do alfa de Cronbach que mostrou valores de consistência interna elevados (0,80 para a subescala do modelo *distância ao epicentro*; 0,80 para a subescala do modelo *mesa sísmica*; 0,81 para a subescala do modelo *movimento de solos em vertentes*). Para vários autores, valores de 0,80 são satisfatórios (Kline, 2000; Nunnally & Bernstein, 1994), especialmente dado o facto de o número de itens ser pequeno (Lowenthal, 2001).

Na sua versão final, a escala por nós construída (Escala de Avaliação de Modelos de Sismologia) é constituída por 10 itens, repetidos e exatamente iguais para cada um dos três modelos, a serem pontuados segundo uma escala de 5 pontos (1- Discordo completamente a 5 – Concordo completamente). Após a aplicação da escala, os dados foram analisados estatisticamente recorrendo à versão 22 do SPSS.

5.3.6. Resultados

Após a análise estatística dos dados das escalas preenchidas pelos alunos, estes foram organizados em três tabelas, referentes a cada um dos modelos apresentados aos alunos, sendo referido para cada item e valor da escala (de 1 a 5), a frequência e respetiva percentagem.

Tabela 5.6. Frequência (f) e percentagem (%) das respostas dos alunos (n=126) relativamente ao modelo 1 (Distância ao epicentro).

MODELO 1	1		2		3		4		5	
	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%
1	1	0.8	1	0.8	21	15.8	48	36.1	55	41.4
2	1	0.8	2	1.5	18	13.5	45	33.8	60	45.1
3	12	9.0	11	8.3	38	28.6	30	22.6	35	26.3
4	2	1.5	2	1.5	14	10.5	39	29.3	69	51.9
5	1	0.8	2	1.5	33	24.8	45	33.8	45	33.8
6	1	0.8	4	3.0	23	17.3	52	39.1	46	34.6
7	1	0.8	7	5.3	21	15.8	48	36.1	49	36.8
8	1	0.8	10	7.5	23	17.3	37	27.8	55	41.4
9	2	1.5	5	3.8	16	12.0	48	36.1	55	41.4
10	1	0.8	2	1.5	12	9.0	28	21.1	83	62.4

Valores da escala: 1 – Discordo completamente; 2 – Discordo; 3 – Nem concordo nem discordo; 4 – Concordo; 5 – Concordo completamente.

Relativamente ao modelo 1 que representava o efeito dos sismos em edifícios em função da sua distância ao epicentro (tabela 5.6.), a maioria dos alunos selecionou a opção *concordo* ou *concordo completamente* na maior parte dos itens que constituíam a escala. No entanto, no item 3 – *o modelo esclarece dúvidas sobre o comportamento de alguns materiais*, a maioria dos alunos *nem concorda nem discorda* com a afirmação (f=38; 28,6%). Estes resultados revelam que os alunos consideram que o modelo *distância ao epicentro* auxilia a compreensão de alguns conceitos de sismologia e dos fenómenos geológicos, nomeadamente, o efeito dos sismos nos edifícios.

Tabela 5.7. Frequência (f) e percentagem (%) das respostas dos alunos (n=126) relativamente ao modelo 2 (Mesa sísmica).

MODELO 2	1		2		3		4		5	
	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%
1	0	0	4	3.0	9	6.8	27	20.3	86	64.7
2	1	0.8	4	3.0	16	12.0	56	42.1	49	36.8
3	0	0	1	0.8	7	5.3	29	21.8	89	66.9
4	0	0	2	1.5	10	7.5	21	15.8	93	69.9
5	2	1.5	1	0.8	19	14.3	37	27.8	67	50.4
6	2	1.5	3	2.3	11	8.3	43	32.3	67	50.4
7	0	0	0	0	9	6.8	36	27.1	81	60.9
8	2	1.5	5	3.8	16	12.0	32	24.1	71	53.4
9	0	0	0	0	14	10.5	37	27.8	75	56.4
10	0	0	1	0.8	5	3.8	16	12.0	104	78.2

Valores da escala: 1 – Discordo completamente; 2 – Discordo; 3 – Nem concordo nem discordo; 4 – Concordo; 5 – Concordo completamente.

O modelo 2 dizia respeito à mesa sísmica e permitia representar o efeito dos sismos nos edifícios, tendo em conta a sua altura, estrutura, tipos de materiais de construção e fundações (tabela 5.7.). Constatou-se que a maioria dos alunos *concorda completamente* com as informações dos itens da escala, tendo-se obtido percentagens superiores a 50% em todas elas, à exceção do item 2 - *Apresenta as características das ondas sísmicas e como se propagam* (36,8%). Tais resultados indicam que o modelo *mesa sísmica* se revelou importante para os alunos ao nível da compreensão do comportamento dos edifícios em função das suas características e materiais usados na construção, bem como na reestruturação dos seus modelos mentais.

Tabela 5.8. Frequência (f) e respectiva percentagem (%) das respostas dos alunos (n=126) relativamente ao modelo 3 (Movimentos de solos em vertentes).

MODELO 3	1		2		3		4		5	
	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%
1	2	1.5	20	15.0	0	0	46	34.6	58	43.6
2	3	2.3	8	6.0	30	22.6	47	35.3	38	28.6
3	0	0	2	1.5	7	5.3	24	18.0	93	69.9
4	1	0.8	2	1.5	22	16.5	35	26.3	66	49.6
5	0	0	2	1.5	17	12.8	55	41.4	52	39.1
6	0	0	0	0	18	13.5	52	39.1	56	42.1
7	1	0.8	3	2.3	16	12.0	48	36.1	58	43.6
8	3	2.3	4	3.0	17	12.8	40	30.1	62	46.6
9	1	0.8	1	0.8	17	12.8	42	31.6	65	48.9
10	0	0	3	2.3	6	4.5	29	21.8	88	66.2

Valores da escala: 1 – Discordo completamente; 2 – Discordo; 3 – Nem concordo nem discordo; 4 – Concordo; 5 – Concordo completamente.

Na tabela 5.8. estão representados os dados referentes ao modelo 3, que representava o efeito dos sismos no movimento de solos em regiões de vertente, mostrando que a maioria dos alunos classificou os itens da escala com valores de 4 - *concordo* e 5 - *concordo completamente*, tendo-se verificado, nomeadamente no valor 5 da escala, percentagens superiores a 50% nos itens 3 - *esclarece dúvidas sobre o comportamento de alguns materiais* (69,9%), e 10 - *permite testar ideias* (66,2%).

Estes resultados sugerem que o modelo *movimento de solos em vertentes* permite que os alunos clarifiquem alguns conhecimentos referentes às características e comportamentos dos materiais constituintes do solo e, compreendam os fatores que intervêm no fenómeno geológico que lhes foi apresentado.

Finalmente observou-se também que, nos três modelos, foram poucos os alunos que classificaram os itens com 1 ou 2, *discordo completamente* e *discordo* respetivamente, reforçando-se a importância que os alunos atribuíram a cada um dos modelos no auxílio na construção dos seus conhecimentos científicos.

5.3.7. Conclusão

Pela análise dos dados obtidos é possível concluir que os alunos consideram que os modelos apresentados nos Dias Abertos às Escolas auxiliam no seu processo de construção de conteúdo conceptual relativo ao efeito dos sismos. Assim, consideramos que a compreensão destes conteúdos contribui para auxiliar os alunos na reestruturação dos seus modelos mentais e sua aproximação aos modelos científicos. Desta forma realça-se a importância do recurso à modelação como metodologia para auxiliar a construção do conhecimento conceptual dos alunos e promover o desenvolvimento da literacia científica e de uma aprendizagem significativa.

5.3.8. Referências Bibliográficas

- Bensaude-Vincent, B., 2001. A genealogy of the increasing gap between science and the public. *Public Understanding of Science*, 10, 99-113.
- Bolacha, E., Deus, H. M., Fonseca, P. E., 2011. The concept of analogue modelling in Geology: an approach to mountain building. *Proceedings of the 9th ESERA Conference*, University of Lyon, France, 7p.
- Deus, H. M., Bolacha, E., Vasconcelos, C., Fonseca, P. E., 2011. Analogue modelling to understand geological phenomena. *Proceedings of the GeoSciEd VI*, Joahnnesburg, South Africa, 16p.
- Francek, M., 2013. A compilation and review of over 500 Geoscience Misconceptions. *International Journal of Science Education*, 35(1), 31-64.
- Gilbert, S.W., 1991. Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 73–79.
- Gobert, J. D., Buckley, B. C., 2000. Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.
- Greca, I. M., Moreira, M. A., 2000. Mental models, conceptual models, and Modeling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11.

- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C., 1991. Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799–822.
- Justi, R. S., Gilbert, J. K., 2002. Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Kline, P., 2000. *The handbook of psychological testing*. 2nd Edition, Routledge, London, 744p.
- Lowenthal, K. M., 2001. *An introduction to psychological tests and scales*. Cornwall: Psychology Press, 172p.
- Martín-Sempere, M. J., Garzón-García, B., Rey-Rocha, J., 2008. Scientists' motivation to communicate science and technology to the public: surveying participants at the Madrid Science Fair. *Public Understanding of Science*, 17, 349-367.
- Moutinho, S., Torres, J., Almeida, A. & Vasconcelos, C., 2013. Portuguese teachers' views about geosciences models. In: P. Membiela, M. Vidal (Eds.) *Congreso International sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*, Girona, Spain, 2430-2435.
- Nunnally, J. C., Bernstein, I. H., 1994. *Psychometric theory*. 3rd Edition, McGraw-Hill, New York, 774p.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., Mamiala, T. L., 2002. Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science education*. 24(4), 357-368.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. D., Mamiala, T. L., 2004. Students' Understanding of the Descriptive and Predictive Nature of Teaching Models in Organic Chemistry. *Research in Science Education*, 34, 1-20.

Nota: No apêndice 4 está disponível a versão final da Escala de Avaliação de Modelos de Sismologia (SMES).

6.

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO PROGRAMA DE INTERVENÇÃO

6.1.

O efeito dos sismos em solos e edifícios: Aplicação de um Programa de Intervenção dirigido a estudantes de licenciatura recorrendo à Modelação

Sara Moutinho, Rui Moura & Clara Vasconcelos

Revista Montagem: Centro Universitário Moura Lacerda, (16), pp. 117-131.

6.1.1. Resumo

A utilização de modelos possibilita a construção do conhecimento e a promoção da literacia científica dos alunos. Desta forma, desenvolveu-se um Programa de Intervenção sobre o efeito dos sismos em solos e edifícios, com recurso à modelação, aplicado a estudantes de licenciatura de uma Universidade pública do Norte de Portugal. Para isso foram desenvolvidos e aplicados um modelo computacional, um modelo físico e um modelo misto, e no fim da sua aplicação foram administrados vários instrumentos de recolha de dados, procurando compreender quais as opiniões dos estudantes sobre a metodologia e sobre a conceção de modelo. A análise dos dados permitiu concluir que os estudantes compreenderam a importância dos modelos e da modelação em ciência, bem como o papel dos cientistas no desenvolvimento dos modelos científicos.

Palavras-chave

Ensino das Ciências; Modelação; Programa de Intervenção; Riscos Naturais; Sismologia.

Seismic effects on soils and buildings: Application of an Intervention Program to Graduation students resorting to Modelling

6.1.2. Abstract

The application of models supports the construction of knowledge and the promotion of scientific literacy. This paper presents an Intervention Program supported in Model-Based Learning and concerned with the effect of earthquakes on soils and buildings. It was applied to undergraduate students of a public University in the northern of Portugal. After the intervention a questionnaire related to students' views about models and modelling in Science was applied to collect and analyze students' views and conceptions about the methodology and the development of models. The results allowed us to conclude that students understand the importance of models and modelling in Science and Science teaching, as well as the role of scientists in the development of scientific models.

Keywords

Science Education; Modelling; Intervention program; Natural hazards; Seismology.

6.1.3. Introdução

Uma das principais preocupações do ensino atualmente é o desenvolvimento de metodologias que facilitem o processo de aprendizagem dos estudantes (Greca & Moreira, 1997), aproximando-o da forma como os sujeitos compreendem e interpretam aquilo que observam.

Johnson-Laird (1983) defende que a forma como os sujeitos compreendem o mundo depende daquilo que nele existe e, daquilo que compõe a mente humana, e que ao contactar com o mundo real, os sujeitos desenvolvem modelos mentais que lhes permitem representar e compreender fenómenos físicos e, dar resposta a situações com que são confrontados no quotidiano. Na escola, são apresentados aos estudantes modelos para o ensino, recorrendo-se à modelação¹ como metodologia que visa facilitar a aprendizagem dos modelos físicos, através da reestruturação dos seus modelos mentais. Estes modelos, desenvolvidos e aplicados com base na modelação permitem o desenvolvimento de representações concretas e ideias abstratas em ciência, e os seus respetivos mecanismos (Louca & Zacharia, 2012).

Esta metodologia é especialmente importante no contexto das Geociências por permitir manipular diferentes tipos de modelos, uma vez que a investigação desenvolvida nesta área depende fortemente deles em diversos aspetos (Oh & Oh, 2011).

Neste trabalho são explorados alguns tipos de modelos para o ensino que foram utilizados em contexto de sala de aula, integrando um Programa de Intervenção (PI) para lecionar a temática *efeito dos sismos em solos e edifícios* a estudantes do ensino superior português.

6.1.3.1. Modelos para o ensino

A ciência é uma atividade complexa, multifacetada que inclui o processo de formação e justificação do novo conhecimento, fazendo um esforço para explicar os fenómenos naturais (Louca & Zacharia, 2012). Por isso, exige interpretação e raciocínio através de visualizações que são semanticamente ricas, mas que exigem um elevado grau de abstração. Assim, o ensino desta ciência socorre-se frequentemente de

¹ O termo modelação a que é feita referência no corpo do artigo é equivalente ao termo modelagem, mais comum no Brasil.

visualizações, que correspondem à análise de gráficos, mapas, diagramas, modelos, simulações, entre outros (Gobert, 2005). Uma vez que o objetivo deste trabalho consiste na aplicação de um PI recorrendo a modelos e à modelação, a nossa abordagem centrar-se-á apenas neste tipo de visualizações.

No ensino das ciências os modelos que são construídos e aplicados integram partes de informação sobre a estrutura do fenómeno natural, os mecanismos causais envolvidos no processo, ou outras características da natureza do processo (Gobert, 2005). Desta forma, é possível, através de simplificações dos modelos cientificamente aceites (os designados modelos para o ensino) auxiliar os alunos no seu processo de construção do conhecimento, tornando-o mais apelativo, interessante e motivador para os estudantes (Rodhe, 2012).

Justi (2006) refere que é necessário que o professor recorra a estes modelos no ensino das ciências, pois eles permitem ajudar os estudantes a aprender alguns aspetos de um determinado modelo curricular, constituindo representações aproximadas de uma parte da realidade, tornando o fenómeno em estudo menos abstrato para os alunos, e consequentemente, mais apelativo e interessante.

Dependendo das características do fenómeno em estudo, e da abordagem que o professor pretende fazer desse mesmo fenómeno, há vários tipos de modelos para o ensino que podem ser aplicados em sala de aula, nomeadamente os modelos computacionais, os modelos físicos e os modelos mistos. Todos estes tipos de modelos foram desenvolvidos para este estudo, e são apresentados de seguida.

6.1.3.2. Modelos computacionais

Há mais de uma década que vários autores defendem o recurso à internet e outros instrumentos tecnológicos como uma ferramenta educacional em sala de aula. O potencial deste recurso assenta na sua função como repositório de informação que permite desenvolver experiências de aprendizagem dos estudantes mais ricas (Greenhow, Robelia & Hughes, 2009).

Considerando a evolução da tecnologia durante a última década e a importância que assume hoje em dia no quotidiano dos sujeitos, a sua utilização em sala de aula como ferramenta de ensino não levanta qualquer dúvida. Além disso, atualmente considera-se fundamental o desenvolvimento de competências tecnológicas nos estudantes do ensino superior, por se considerar que estão intimamente relacionadas com o desenvolvimento da capacidade de inovação, do espírito de liderança, da

colaboração multidisciplinar, da capacidade de identificação de problemas e respetiva resolução num ambiente dinâmico (Greenhow *et al.*, 2009).

Desta forma se justifica o recurso a modelos computacionais (também designados por modelos digitais ou numéricos) no ensino das ciências como ferramenta para promoção da aprendizagem dos estudantes de forma dinâmica, apelativa e interessante.

Os modelos digitais incluem animações e simulações. As simulações permitem que os alunos simulem uma determinada situação particular, permitindo-lhes controlar variáveis para determinar o impacto que cada uma terá no fenómeno natural em estudo (Science online, s/d).

Muitos destes modelos digitais podem ser obtidos através da internet, o que torna a sua utilização muito mais simples e prática, principalmente em contexto de sala de aula, uma vez que dispensa a manipulação de material de laboratório, ou outro material específico para as atividades a realizar. Além disso, por estarmos atualmente na era da tecnologia, o recurso a este tipo de modelos desperta nos estudantes um maior interesse e motivação para a participação e realização das atividades em sala de aula.

6.1.3.3. Modelos físicos

Os modelos físicos correspondem aos modelos tradicionalmente usados para simular fenómenos geológicos em laboratório como, por exemplo, as mesas sísmicas, as caixas de compressão ou os modelos em plasticina da estrutura interna da Terra.

O uso deste tipo de modelos remonta ao século XIX com o início da reprodução em laboratório de alguns fenómenos geológicos. Nesta época, os modelos eram meros facilitadores da reprodução da evolução das causas e dos mecanismos dos processos geológicos (Moutinho & Vasconcelos, *in press*). Com o reconhecimento das suas potencialidades como ferramenta auxiliadora do processo de construção do conhecimento (Barbosa, 2009), os modelos passaram a ser utilizados no ensino das ciências como recursos educativos.

Os modelos físicos permitem representar fenómenos em que um ou mais elementos de um sistema está em mudança ao longo do tempo, e dado o seu carácter dinâmico (embora nem todos sejam dinâmicos) permitem que os estudantes simulem e observem como ocorre um determinado fenómeno natural e quais as variáveis que nele intervêm. Estes modelos derivam de imagens e metáforas que delimitam os fenómenos: se uma teoria científica constitui uma determinada visão do mundo, possuindo um

determinado tipo de explicações e perguntas que podem ser formuladas, os modelos físicos determinam a forma como os fenómenos relacionados com eles deveriam ser interpretados e compreendidos. Portanto, resumem os aspetos essenciais da teoria, de modo que seja possível visualizar mais facilmente os seus princípios explicativos (Greca & Moreira, 2001).

Pelo exposto se compreende a importância da utilização deste tipo de modelos no ensino das ciências, não só pelas suas características estruturais mas também pelo auxílio que prestam aos estudantes na compreensão dos fenómenos científicos e na construção do seu conhecimento. Deus e colaboradores (2011) defendem que, se os estudantes desenvolverem a capacidade de produzir, testar e avaliar estes modelos, bem como sua dinâmica, eles podem melhorar o seu interesse e ter uma compreensão mais profunda sobre as mudanças reais que ocorreram no curso da história da Terra.

No entanto, é preciso ter muito cuidado ao relacionar aquilo que se demonstra com o modelo físico e a realidade, porque estas inferências são muito complexas e delicadas. Quando se fala em imagens, no contexto dos modelos físicos, estas devem ser entendidas em sentido amplo, e não como uma relação direta em que cada elemento do modelo corresponde a um elemento na realidade (Greca & Moreira, 2001). Na verdade, o papel do professor neste processo é fundamental pois auxilia os estudantes a desenvolver a capacidade de, a partir da análise do modelo, fazer inferências sobre o fenómeno natural, conseguindo abstrair-se das limitações físicas do mesmo, nomeadamente relativas à escala ou ao comportamento dos materiais. Se isto não for devidamente conseguido, o modelo físico poderá entrar em conflito com o modelo mental dos estudantes e, dificultar o processo de aprendizagem (Clement, 2000). Relembre-se que na maioria das vezes os modelos físicos usados no ensino não são análogos reais, mas representam apenas analogias.

6.1.3.4. Modelos mistos

Dadas as particularidades da Geologia enquanto ciência, e tendo em consideração as dificuldades inerentes ao ensino desta ciência, como a questão da escala temporal e geográfica, ou o comportamento dos materiais existentes na natureza, facilmente se compreende a necessidade de aprimorar os modelos geralmente utilizados para simular os fenómenos geológicos.

O desafio dos educadores em ciência, atualmente, consiste em desenvolver formas de usar o poder das ferramentas visuais e tecnológicas como influências positivas na aprendizagem dos alunos (Libarkin & Brick, 2002).

A investigação existente sugere que a eficiência das ferramentas visuais depende mais da forma como são utilizadas do que da própria ferramenta (Kusnick, 2001). Por outro lado, as ferramentas tecnológicas exigem conhecimento, formação, e um contexto pedagógico adequado para que sejam bem-sucedidas. Muito poucas ferramentas atualmente disponíveis promovem o ambiente de aprendizagem essencial e, por isso, o papel do professor continua a ser fulcral em todo o processo de aprendizagem (Libarkin & Brick, 2002).

No desenvolvimento da tese de doutoramento na qual se integra o presente trabalho considerou-se importante o desenvolvimento de um tipo de modelo para o ensino que contemplasse as potencialidades dos modelos anteriormente referidos, na tentativa de minimizar as limitações de cada um. Assim, decidiu-se desenvolver um modelo misto, que é constituído por duas componentes: uma componente física e uma componente computacional.

A componente física apresenta todas as características de um modelo físico, incluindo a possibilidade dos estudantes manipularem as variáveis que influenciam o fenómeno em estudo. Contudo, esta componente está intimamente relacionada com uma componente computacional que recorre à vertente tecnológica como complemento à simulação e observação do fenómeno. Ambas as vertentes são fundamentais para o correto funcionamento do modelo e, na falta de uma delas, o resultado da simulação é comprometido.

6.1.4. Desenvolvimento e aplicação do Programa de Intervenção (PI)

No presente trabalho pretende-se apresentar o PI que foi desenvolvido e aplicado no âmbito do desenvolvimento da tese de doutoramento referente à importância da aplicação de modelos no desenvolvimento da aprendizagem significativa de estudantes do ensino superior.

O PI desenvolvido teve a duração de três aulas de quatro horas, que decorreram em três semanas consecutivas, num total de 12 horas. A aplicação deste PI teve como propósito:

- (i) Lecionar a temática *efeito dos sismos em solos e edifícios* recorrendo à modelação como metodologia principal.
- (ii) Aplicar e manipular três tipos de modelos diferentes, desenvolvidos tendo em vista a sua utilização durante as aulas do PI.
- (iii) Promover a reestruturação dos modelos mentais dos estudantes relativamente à temática abordada.
- (iv) Avaliar as potencialidades e limitações de cada um dos modelos aplicados.
- (v) Compreender a importância dos modelos e da modelação em ciência.

Uma vez que um dos objetivos da investigação desenvolvida é avaliar as potencialidades de três tipos de modelos na promoção da aprendizagem significativa, foram aplicados, em cada uma das aulas, um tipo de modelo diferente: modelo computacional, modelo físico e modelo misto. O desenvolvimento deste trabalho recai essencialmente sobre a análise dos objetivos (i), (ii) e (v).

Cada uma das aulas lecionadas foi estruturada em duas partes principais: uma primeira parte de carácter mais teórico, onde foram abordados alguns conceitos básicos relacionados com os risco sísmico, e uma segunda parte, com carácter prático, onde foram apresentados aos estudantes cenários de problematização que estes tiveram de resolver recorrendo aos diferentes tipos de modelos.

6.1.4.1. Primeira aula: modelo computacional

Na primeira aula do PI, foi utilizado um modelo computacional (figura 6.1.), que consistia num simulador de computador, e que permitia manipular algumas variáveis,

como o tipo de solo, tipo de isolamento sísmico de base, e a magnitude do sismo. Este simulador está disponível na internet, apenas na língua inglesa, e pode ser acedido e manipulado gratuitamente através do website onde se encontra (<https://www.cosmeo.com/braingames/makeaquake/?title=Make%20a%20Quake>).

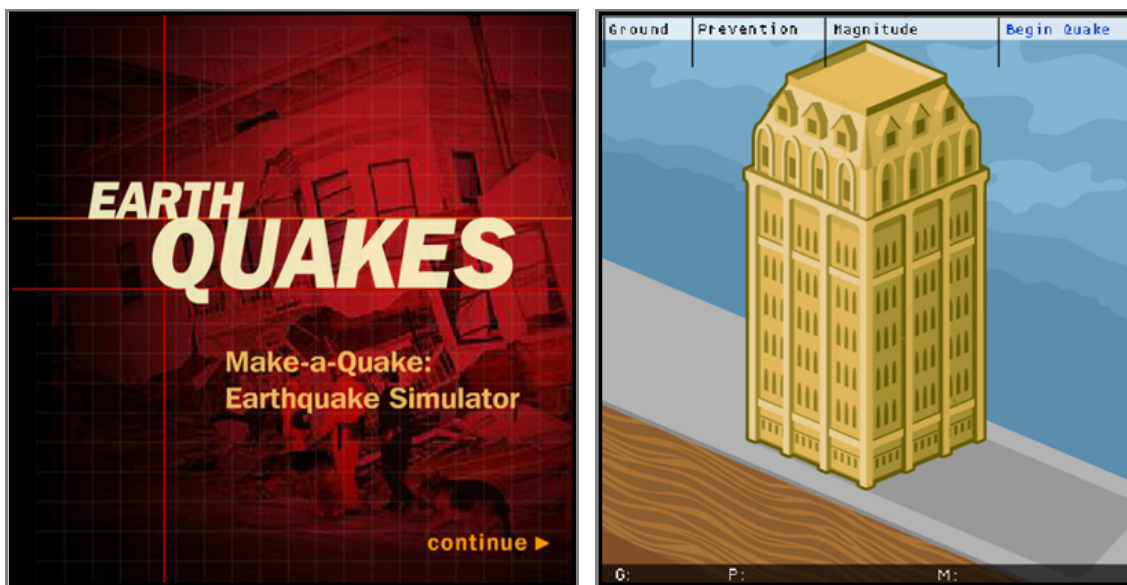


Figura 6.1. Modelo computacional *Earthquakes, Make-a-Quake: Earthquake Simulator*.

De acordo com os pressupostos da modelação, a utilização deste, e dos outros modelos foi devidamente contextualizada no âmbito da aula. Para isso, no início da componente prática da aula foi apresentado um cenário de problematização (figura 6.2.) aos estudantes que, foram convidados a levantar questões sobre a situação-problema com que se confrontaram e, posteriormente recorreram ao modelo como ferramenta para dar resposta ao problema.

Este cenário compreendia duas notícias que relatavam duas situações de risco sísmico, uma no Japão e outra nos Açores, que os estudantes foram convidados a analisar e comparar, procurando explicar porque é que sismos com magnitudes mais elevadas podem causar menos danos do que sismos com magnitudes inferiores, recorrendo para isso ao modelo computacional.

A TERRA ESTÁ A TREMER: O QUE É QUE VAI ACONTECER?

Sismos e alerta de tsunami no Japão

Um sismo com uma magnitude de 5,7 na escala de Richter foi registado esta terça-feira no nordeste do Japão, a mesma zona que horas antes foi sacudida por um abalo de 6,9.

A Agência Meteorológica do Japão indicou que o terramoto, registado às 13:46 (04:46 em Lisboa) teve o epicentro muito perto da costa da província de Iwate. (...) Não há relatos de vítimas ou danos significativos na sequência do sismo e do maremoto.

O Japão situa-se no chamado «Anel de Fogo», uma das zonas sísmicas mais ativas do mundo, pelo que é palco de terremotos com relativa frequência. (...)

(TVI24, 16/02/2015)



(consultado em 22-02-2015, disponível em <http://www.tvi24.iol.pt/internacional/16-02-2015/sismo-e-alerta-de-tsunami-no-japao>)

Dezenas de sismos ao largo da ilha Graciosa

Jornal de Notícias, 10/02/2015



A proteção civil dos Açores informou que foram registados hoje 30 sismos de pequena magnitude ao largo da Graciosa, após um primeiro evento ocorrido de manhã a cerca de 25 quilómetros da ilha, não havendo registo de danos.

"Até ao momento, foram contabilizados 30 eventos, todos de magnitude inferior a 2,5 (graus na escala de Richter)" adianta em comunicado o Serviço Regional de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores, que cita o Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA). Segundo a Proteção Civil açoriana, não há informação de algum evento ter sido sentido pela população, nem registo de danos.

Esta atividade sísmica localiza-se na mesma região epicentral do sismo de magnitude 3,5 graus na escala de Richter que foi registado hoje nas estações da Rede Sísmica do Arquipélago dos Açores, pelas 6.42 horas locais (7.42 horas em Portugal continental), a cerca de 25 quilómetros da ilha Graciosa.

As autoridades regionais dizem que vão continuar a acompanhar o evoluir da situação, emitindo novos comunicados se necessário.

(consultado em 22-02-2015, disponível em http://www.jn.pt/paginaInicial/pais/concelho.aspx?Distrito=A%E7ores%3A%20Grupo%20Central&Concelho=Santa%20Cruz%20da%20Graciosa&Option=Interior&content_id=4393061)

Figura 6.2. Cenário de problematização A Terra está a tremer: o que é que vai acontecer?

As características e particularidades do modelo foram explicadas aos estudantes antes de iniciarem as atividades, sendo-lhes facultado um documento de exploração (figura 6.3.) com as indicações necessárias para a sua manipulação, a tradução para português da descrição de cada uma das variáveis que era possível selecionar, e algumas questões de exploração que orientaram os estudantes durante a manipulação do modelo e na análise dos resultados obtidos.

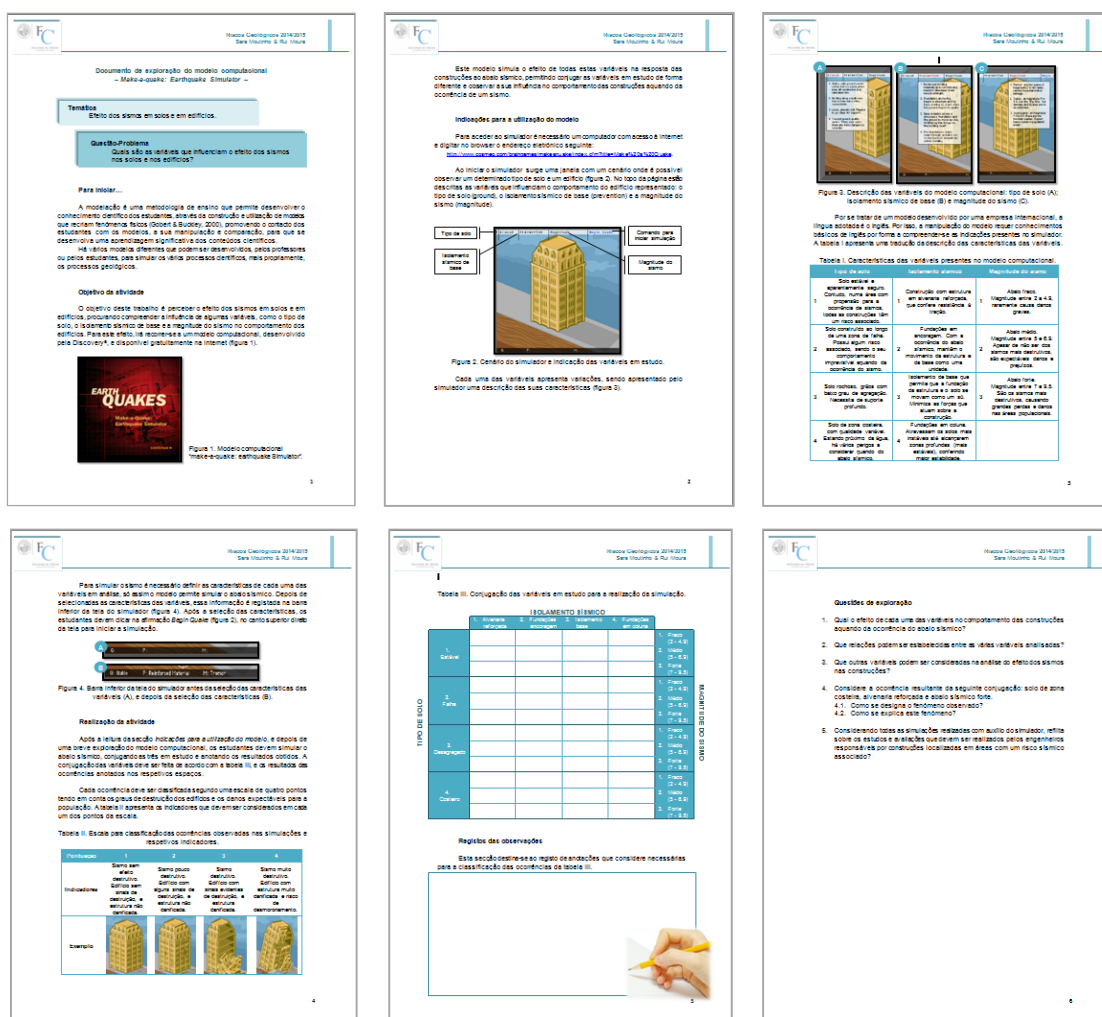


Figura 6.3. Documento de exploração do modelo computacional.

6.1.4.2. Segunda aula: modelo físico

Na segunda aula, foi aplicado um modelo físico para a continuação da exploração do desenvolvimento da temática *efeito dos sismos em solos e edifícios*. O modelo físico consistiu numa mesa sísmica (figura 6.4.), construída propositadamente para o efeito. A mesa sísmica possuía um motor mecânico, que consistia num berbequim ligado à sua base vibratória através de um braço articulado, que permitia a sua movimentação em duas direções distintas. A intensidade do berbequim era regulável permitindo, assim, simular abalos sísmicos com diferentes magnitudes.

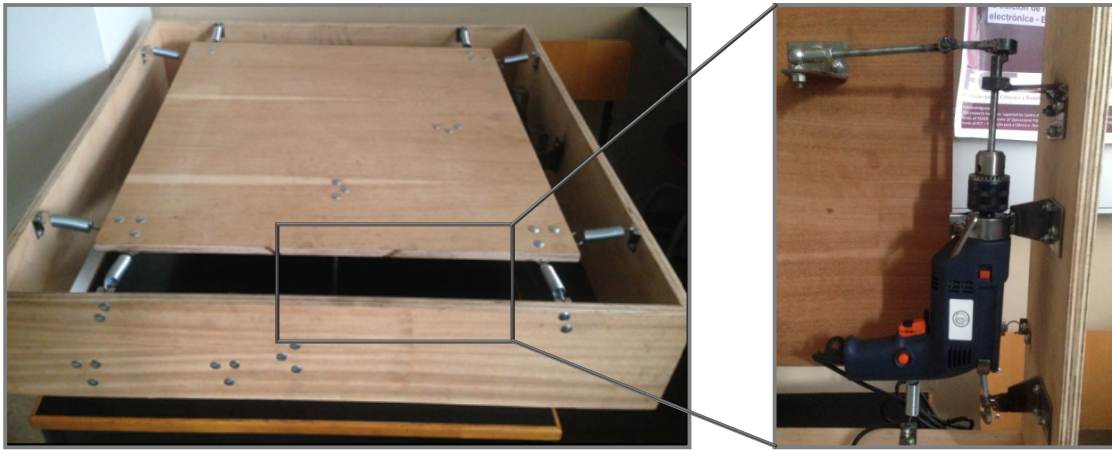


Figura 6.4. Modelo físico – mesa sísmica, com pormenor do motor mecânico.

Pela sua conformação e estrutura, a mesa permitia vários tipos de montagens para analisar o efeito de diferentes variáveis (figura 6.5.) que, foram definidas pelos estudantes, a partir do questionamento resultante da análise de um cenário de problematização.

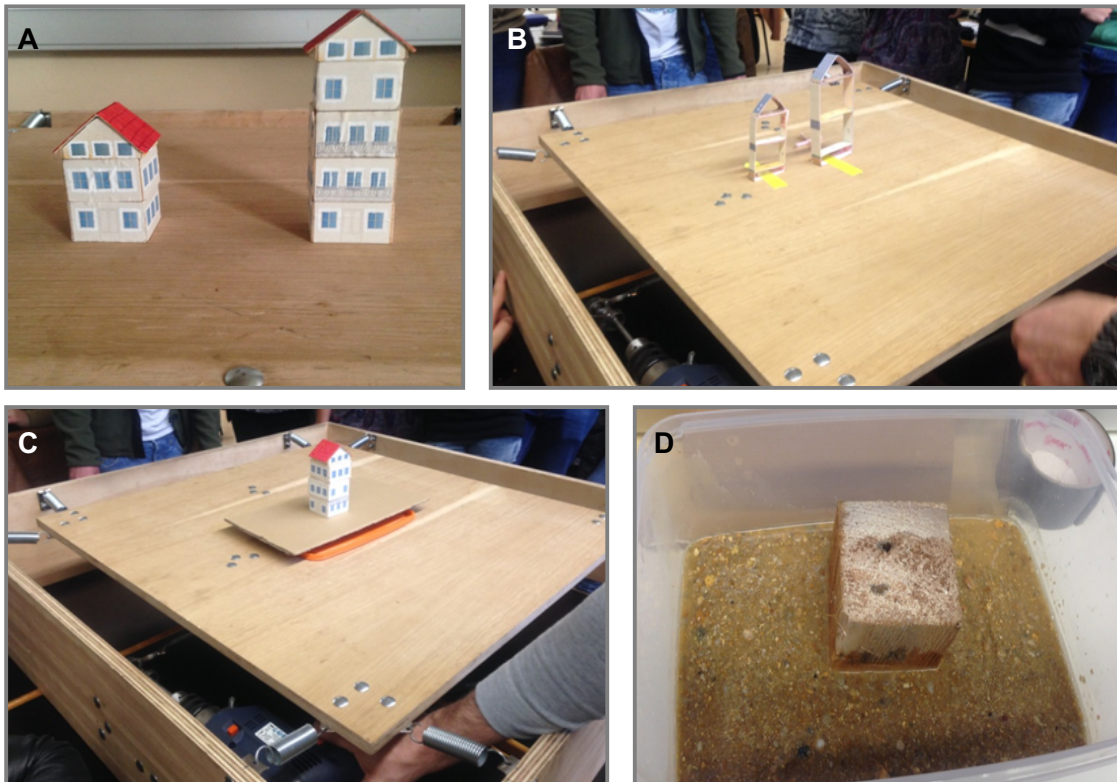


Figura 6.5. Variáveis manipuladas no modelo físico: altura dos edifícios (A), estrutura dos edifícios (B), isolamento sísmico de base (C) e tipo de solo (D) – simulação do efeito de liquefação.

Enquanto na parte teórica da aula foram exploradas algumas variáveis que influenciam o efeito dos sismos em solos e edifícios, analisando o seu comportamento

e procurando perceber o que fazer para atenuar o seu efeito, na parte prática da aula foi também explorado um cenário de problematização (figura 6.6.) que colocava os estudantes no lugar de peritos contratados para avaliarem a segurança e resistência de dois edifícios, com características e localizações diferentes, tendo como objetivo a elaboração de um relatório a ser entregue à empresa que contratou os seus serviços.

GEOFÍSICA EM AÇÃO: AVALIAÇÃO DE RISCO SÍSMICO

Uma empresa de construção civil contactou a Faculdade de Ciências da Universidade do Porto para analisar e avaliar o risco sísmico de duas construções levadas a cabo em simultâneo pela empresa.
Foste destacado(a) para realizar este estudo e avaliar o risco sísmico associado a cada uma das construções.
Para isso, analisa as informações seguintes.

Informações sobre a construção A			
Localização	Tipo de solo	Características da construção	Isolamento sísmico de base
Porto (centro)	Solo localizado em maciço granítico sem evidências de alteração.	Edifício destinado a escritórios e sedes de pequenas empresas, com 20 andares e 10 escritórios em cada.	Sem isolamento sísmico de base, construção assente no solo sem estrutura de

Informações sobre a construção B			
Localização	Tipo de solo	Características da construção	Isolamento sísmico de base
Praia de Carcavelos	Zona costeira, solo essencialmente constituído por depósitos sedimentares.	apartamentos em cada um. Estrutura simples, sem reforço estrutural.	Isolamento sísmico de base, construção assente no solo sem estrutura de

Pretende-se que seja analisada a resistência das construções à ocorrência de um abalo sísmico com magnitudes variáveis e que seja emitido um relatório com todas as informações referentes à avaliação do risco sísmico, contemplando, se necessário, medidas que deverão ser adotadas para aumentar a resistência da construção a um eventual abalo sísmico.

Pretende-se que seja analisada a resistência das construções à ocorrência de um abalo sísmico com magnitudes variáveis e que seja emitido um relatório com todas as informações referentes à avaliação do risco sísmico, contemplando, se necessário, medidas que deverão ser adotadas para aumentar a resistência da construção a um eventual abalo sísmico.

Figura 6.6. Cenário de problematização *Geofísica em ação: Avaliação de risco sísmico*.

A manipulação da mesa sísmica foi também acompanhada por um documento de exploração (figura 6.7.). Este documento orientava os estudantes na definição das variáveis que deveriam ser analisadas, mas também na análise e registo dos resultados obtidos.

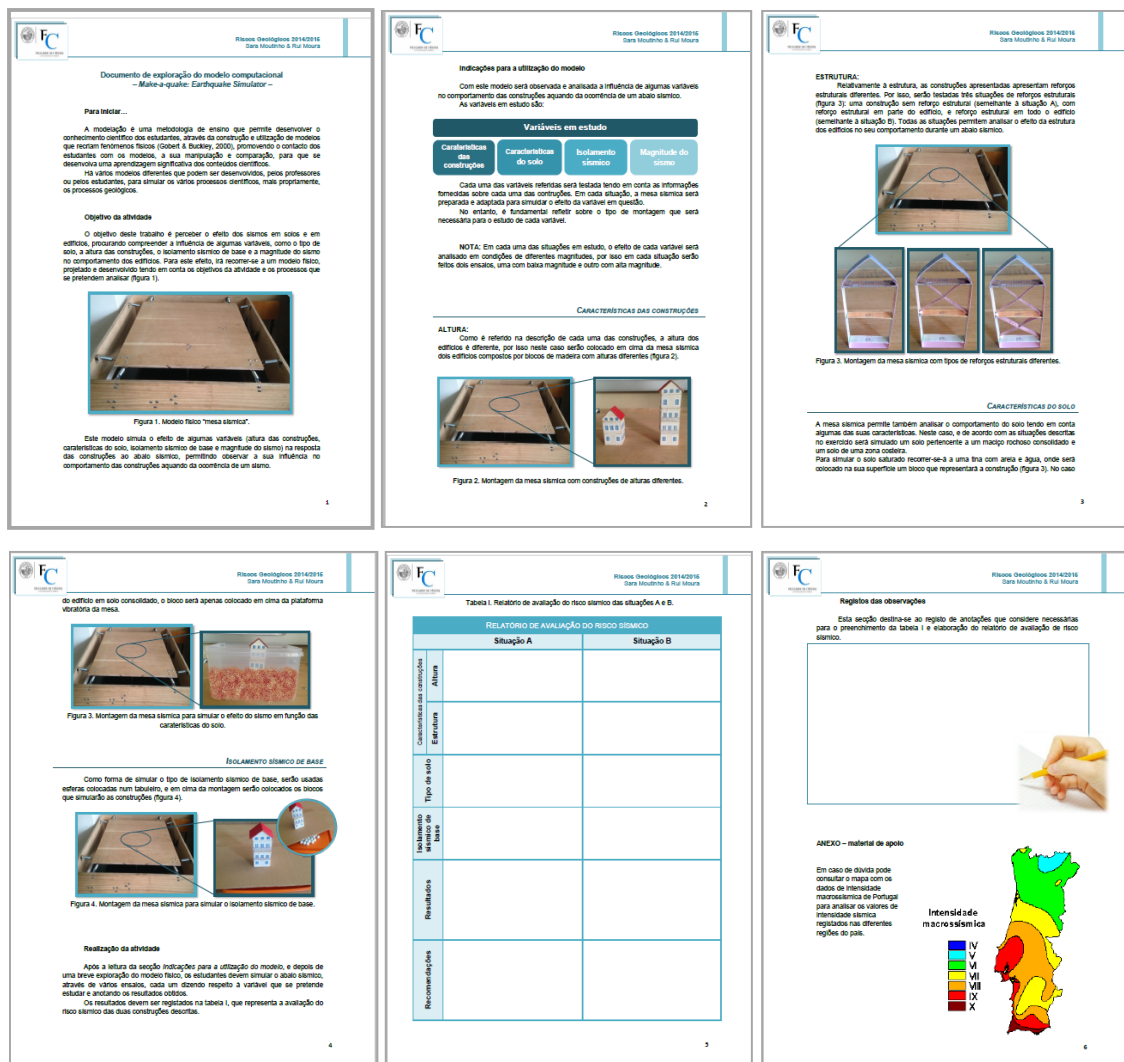


Figura 6.7. Documento de exploração do modelo físico.

6.1.4.3. Terceira aula: modelo misto

Na última aula foi utilizado um modelo misto (figura 6.8.), constituído por duas componentes: uma física e uma computacional. A componente física correspondia à mesa sísmica, utilizada na aula anterior, e a componente computacional consistia num sismógrafo ligado simultaneamente à mesa sísmica e a um computador, permitindo detetar e registar em direto a propagação das ondas sísmicas simuladas pela componente física do modelo.

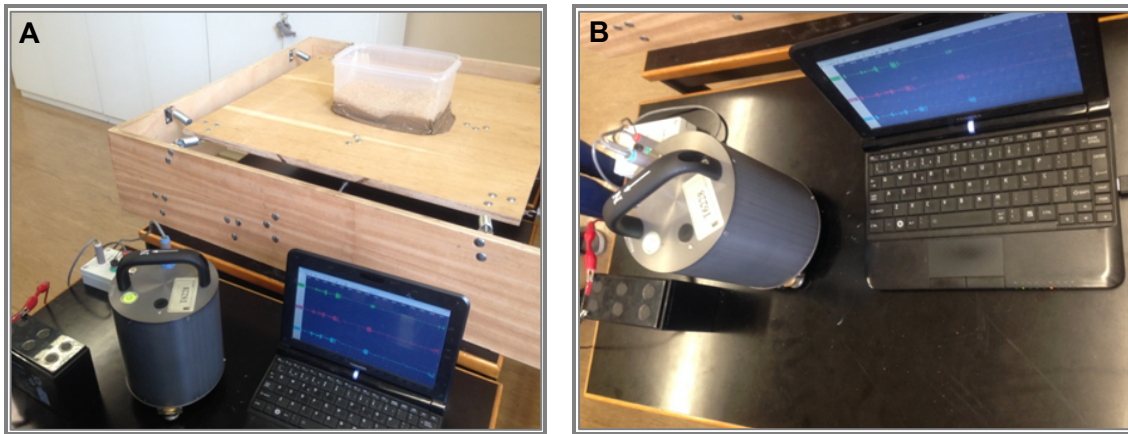


Figura 6.8. Modelo misto: componente física (A) e componente computacional (B).

A utilização deste modelo permitiu também a manipulação de várias variáveis, de forma semelhante ao que foi feito no modelo físico. No entanto, a principal vantagem deste modelo consistiu em permitir aos estudantes observarem o registo das ondas sísmicas no sismógrafo (figura 6.9.), de forma semelhante ao que ocorre nas estações sismológicas, ao mesmo tempo que analisavam qual o efeito de cada uma das variáveis em estudo no comportamento do solo e dos edifícios aquando de um abalo sísmico.



Figura 6.9. Registo das ondas sísmicas geradas pela mesa sísmica no modelo misto.

A organização desta aula foi ligeiramente diferente das anteriores, uma vez que a abordagem da parte teórica incluiu a exploração de um cenário em vídeo, através da análise de partes de um documentário sobre construção antissísmica. Ao longo da sua

exploração foram levantadas algumas questões que foram respondidas recorrendo ao modelo misto.

Uma vez que este modelo possuía uma componente com a qual os estudantes estavam já familiarizados – a mesa sísmica, o documento de exploração elaborado tinha uma estrutura mais simples, onde apenas eram apresentadas aos estudantes as questões que os orientavam na observação e análise dos resultados obtidos através da manipulação do modelo (figura 6.10.).

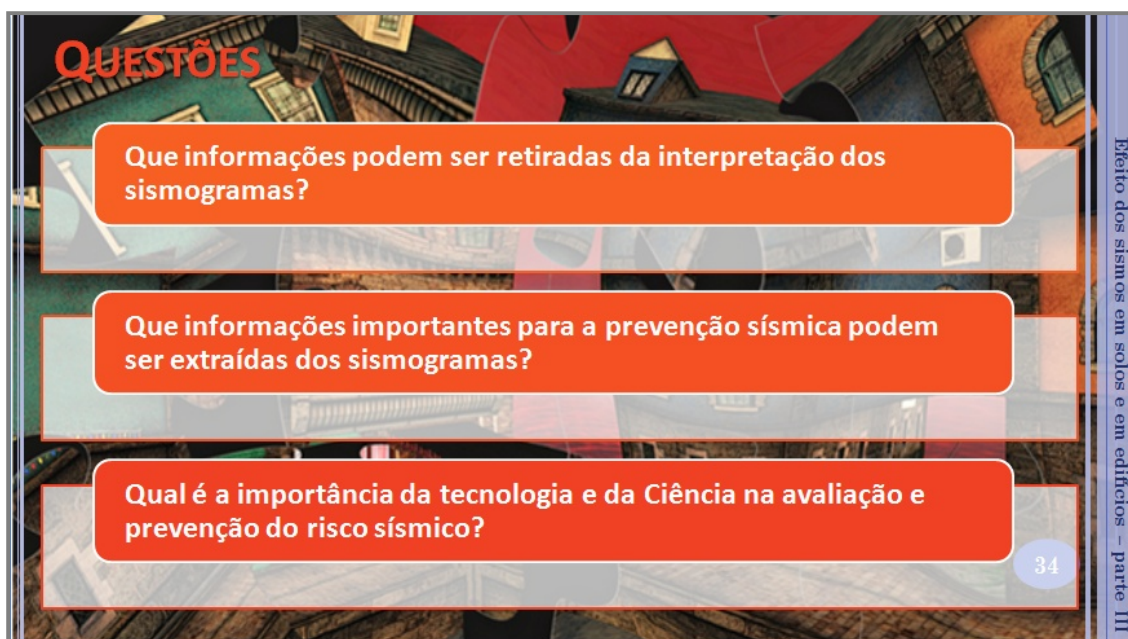


Figura 6.10. Questões orientadoras para exploração do modelo misto.

No final das três aulas que constituíram o PI, os estudantes foram convidados a preencher vários instrumentos de recolha de dados, desenvolvidos e devidamente validados para a amostra em estudo. Um desses instrumentos consistiu num questionário cujo objetivo é analisar quais as visões dos estudantes sobre os *Modelos e a Modelação em Ciência* (apêndice 5). Neste trabalho apresentam-se os resultados obtidos através da análise deste questionário.

6.1.5. Metodologia

O PI apresentado foi aplicado a estudantes de licenciatura que frequentavam uma unidade curricular de Riscos Geológicos numa Universidade pública do Norte de Portugal. A amostra em estudo era constituída por 20 estudantes do ensino superior, 10 do sexo feminino e 10 do sexo masculino, com média de idades de 21 anos, distribuídos entre os 20 e os 24 anos.

Esta intervenção teve a duração de doze horas, divididas em três aulas de quatro horas, lecionadas em três semanas consecutivas (e por isso, também três aulas consecutivas), nas quais foram desenvolvidos e aplicados um modelo computacional, um modelo físico e um modelo misto.

No fim da intervenção foram aplicados vários instrumentos de recolha de dados, nomeadamente um questionário para levantamento das visões dos estudantes sobre *Modelos e Modelação em Ciência*, adaptado de um estudo previamente realizado por Treagust e colaboradores (2004), devidamente validado para a amostra em estudo. A sua validação foi feita por três especialistas na área da Educação em Ciência que analisaram a pertinência e objetividade das questões, tendo em conta a amostra do estudo e o tipo de dados que se pretendiam recolher.

O questionário era constituído por seis questões de escolha múltipla, tendo cada questão duas opções de resposta. Além disso, cada questão possuía ainda uma segunda parte, de resposta aberta, onde os estudantes deveriam justificar a escolha da opção que fizeram. Recorreu-se ao programa de análise de conteúdo NVivo10 para facilitar a análise das respostas dos estudantes e a sua categorização.

O objetivo deste questionário é compreender quais as opiniões dos estudantes sobre a metodologia e sobre a conceção de modelos.

6.1.6. Resultados e discussão

Após a recolha dos dados e respetiva análise das respostas dos estudantes, foram obtidos alguns resultados que se apresentam de seguida, divididos em duas secções, uma relativa às visões dos estudantes sobre as *características dos modelos*, e outra sobre o *papel dos cientistas no processo de aceitação dos modelos*.

6.1.6.1. Características dos modelos

Algumas questões do questionário permitiram analisar as concepções dos estudantes sobre as características dos modelos, nomeadamente as questões 1, 2 e 6.

Tabela 6.1. Categorias de resposta na questão 1 (n=20).

1. Os modelos e a modelação são importantes na compreensão da ciência. Os modelos são:		
Resposta	Categorias	Frequência (f)
Opção a) Representações de ideias sobre como ocorrem os fenómenos.	Não correspondem totalmente à realidade porque os fenómenos naturais são imprevisíveis.	5
	Representações simples, baseadas em factos, que ajudam a compreender os fenómenos.	3
	Não são totalmente fiéis à realidade mas permitem compreender o fenómeno.	5
	Permitem-nos simular fenómenos que ocorrem na realidade.	4
	É mais fácil aprender quando se observa.	1
	Aparelhos que simulam a situação real.	2
Opção b) Duplicações precisas da realidade.	-----	0

A questão 1 pretende averiguar qual a opinião dos estudantes sobre a definição de modelo. Pela análise da tabela 6.1. é possível verificar que todos consideram que os modelos são *representações de ideias sobre como ocorrem os fenómenos*, e a maioria considera que isso se deve à imprevisibilidade dos fenómenos naturais (f=5):

É impossível fazer um modelo que corresponda totalmente à realidade porque os fenómenos naturais têm sempre determinada imprevisibilidade associada ou variáveis que não podemos testar. (P1)

Por outro lado, alguns participantes consideram também que apesar de *não serem fiéis à realidade permitem compreender os fenómenos naturais* (f=5):

Os modelos são representações que ajudam a perceber como [o fenómeno] se manifesta na vida real (...) (P4)

Tabela 6.2. Categorias de resposta na questão 2 (n=20).

2. As ideias científicas podem ser explicadas através de:		
Resposta	Categoria	Frequência
Opção a) Apenas um modelo – cada fenómeno só pode ser explicado através de um único modelo.	-----	0
Opção b) Um modelo – mas podem existir outros modelos para explicar as mesmas ideias.	Há vários modelos que podem explicar o mesmo fenómeno.	17
	Há causas diferentes para modelos diferentes.	1
	Apenas um modelo pode não ser suficiente.	1
Não sei.	-----	1

A tabela 6.2. mostra que, em relação à segunda questão, sobre a forma como podem ser explicadas as ideias científicas, todos os estudantes referem que podem ser explicadas através de *um modelo – mas podem existir outros para explicar as mesmas ideias*, e a maioria considera que *há vários modelos para explicar o mesmo fenómeno* (f=17):

Com vários modelos como verificámos nas aulas podemos chegar às mesmas conclusões. (P6)

Por exemplo simulador de sismos e a mesa sísmica. (P12)

Existem muitas variáveis, e diferentes modelos para representar tudo isso. (P16)

Tabela 6.3. Categorias de resposta na questão 6 (n=20).

6. Os modelos científicos são construídos durante um longo período de tempo através do trabalho de vários cientistas, na tentativa de perceberem os fenómenos científicos. Graças a isso, os modelos científicos:		
Categoria	Subcategoria	Frequência
Opção a) Não podem ser alterados em anos futuros.	-----	0
	Incorporação das descobertas no modelo antigo.	3
Opção b) Podem ser alterados em anos futuros.	A ciência está em constante evolução.	11
	Informações que contrariam o modelo e levam à sua alteração.	4
	Novos estudos podem levar à descoberta de novos resultados.	1
	Depende da tecnologia e do trabalho dos cientistas.	1

A questão 6 diz respeito à durabilidade dos modelos e a sua atualidade. Na tabela 3 estão representadas as respostas dos participantes, podendo verificar-se que todos consideram que os modelos *podem ser alterados em anos futuros*. A maioria dos estudantes justifica a sua resposta referindo que a *ciência está em constante evolução* (f=11):

Com a evolução do conhecimento sobre o fenómeno, os modelos irão evoluir também, acabando por sofrer alterações. (P18)

Os modelos podem ser sempre alterados, pois a ciência está sempre a evoluir. (P14)

6.1.6.2. Papel dos cientistas no processo de aceitação dos modelos

Através do questionário foi também possível analisar as concepções dos estudantes sobre o papel dos cientistas na validação e aceitação dos modelos, nomeadamente através das questões 3, 4 e 5.

Tabela 6.4. Categorias de resposta da questão 3 (n=20).

3. Quando os cientistas recorrem aos modelos e a modelação em ciência para investigar um fenómeno, eles podem:		
Categoria	Subcategoria	Frequência
Opção a) Usar apenas um modelo para explicar os fenómenos científicos.	Pode permitir estudar o fenómeno na totalidade.	1
	Estudar o maior número de variáveis e recolher a maior quantidade de dados.	4
Opção b) Usar vários modelos para explicar os fenómenos científicos.	Quanto mais modelos usarem mais completo será o estudo.	4
	Modelos diferentes são aplicados a fenómenos diferentes.	1
	Modelos diferentes são aplicados no mesmo fenómeno.	8
	Depende do cientista.	1
Não sei.	-----	1

Através da análise da tabela 6.4. é possível verificar que no que respeita ao papel dos cientistas na escolha de modelos para explicar um dado fenómeno, a maioria dos estudantes considera que podem *usar vários modelos para explicar os fenómenos científicos* (f=19) pois referem que *modelos diferentes podem ser aplicados no mesmo fenómeno* (f=8):

Podem usar vários para explicar a mesma ideia, pode ser a mesma ideia enquadrada em várias situações. (P13)

Se em vários modelos eles conseguirem representar o mesmo fenómeno podem fazê-lo. (P18)

Apenas um estudante refere que os cientistas *usam apenas um modelo para explicar os fenómenos*, dando como justificação o facto do modelo escolhido poder permitir estudar o fenómeno na totalidade.

(...) um modelo pode permitir estudar os vários fenómenos em causa. (P9)

Tabela 6.5. Categorias de resposta da questão 4 (n=20).

4. Quando um modelo é proposto para apoiar uma nova teoria científica, os cientistas devem decidir se o aceitam ou não. A sua decisão é:		
Categoria	Subcategoria	Frequência
Opção a) Baseada em factos que suportam o modelo e a teoria.	A ciência deve ser sempre o mais objetiva possível.	2
	Têm de colocar de lado os sentimentos e motivos pessoais.	4
	A decisão baseia-se em observações que comprovam a teoria.	12
	A ciência deve ser imparcial.	1
	Nem sempre acontece apesar de ser o correto.	1
	Não sei explicar.	1
	Sem significado.	1
Opção b) Influenciada pelos seus sentimentos ou motivos pessoais.	-----	0

Relativamente aos critérios usados pelos cientistas para a aceitação de um modelo, a tabela 6.5. mostra que todos os estudantes consideram que a decisão dos cientistas deve ser *baseada em factos que suportam o modelo e a teoria*. A maioria justifica a sua resposta através da necessidade das decisões dos cientistas se *basear em observações que comprovem a teoria* (f=12):

A sua decisão baseia-se em observações que comprovam a teoria. (P3)
(...) factos comprovam teorias, mesmo que as nossas crenças não concordem.
(P9)
É necessário comprovar se o modelo se adequa ao estudo/teoria nova. (P20)

Tabela 6.6. Categorias de resposta na questão 5 (n=20).

5. A aceitação de um novo modelo científico:		
Categoria	Subcategoria	Frequência
Opção a) Requer suporte da grande maioria dos cientistas.	Mais suporte dos cientistas significa que o modelo foi mais investigado.	1
	Se não houver consenso o modelo não é aceite.	9
	Cientistas têm visões diferentes da ciência, por isso tudo deve ser analisado.	2
Opção b) Ocorre quando ele pode ser usado com sucesso para explicar resultados.	Basta ser cientificamente correto para ser aceite.	6
	Nem sempre a maioria está correta.	1
	Ter sucesso quando usado em casos reais.	1

Por fim, os estudantes também foram questionados sobre o processo de aceitação de um novo modelo, estando os resultados apresentados na tabela 6.6. Relativamente a esta questão, as opiniões dos estudantes dividiram-se, embora a maioria considere que a aceitação de um modelo científico *requer suporte da grande maioria dos cientistas* (f=12), referindo que *se não houver consenso o modelo não é aceite* (f=9):

Se apenas um cientista concordar, a teoria não será aceite por mais correta que seja. (P2)

Se ninguém concordar com um modelo científico não vai ser aceite pelos restantes (ex. Galileu). (P6)

Por outro lado, é importante referir que 8 estudantes defendem que a aceitação de um modelo *ocorre quando ele pode ser usado com sucesso para explicar resultados*,

e a maioria destes estudantes justifica esta resposta pelo facto de *bastar que o modelo seja cientificamente correto para que seja aceite* pela comunidade científica (f=6):

Se não existir sucesso para explicar resultados os cientistas não iriam apoiar.
(P12)

Só se aceita um modelo quando este realmente se aproxima ao máximo da realidade. (P20)

6.1.7. Conclusões

Apesar dos vários objetivos definidos para o desenvolvimento do PI, este trabalho incidiu essencialmente nos objetivos (i), (ii) e (v), conforme referido anteriormente. Assim, após a aplicação do PI e da análise dos dados é possível retirar algumas conclusões:

i) A lecionação da temática *efeito dos sismos em solos e edifícios* recorrendo à modelação como metodologia principal foi bem sucedida – objetivo (i) –, devendo destacar-se a importância da modelação, enquanto metodologia, na medida em que potenciou o desenvolvimento dos conhecimentos dos estudantes, promovendo o questionamento, a reflexão e análise crítica e, principalmente, o interesse e a motivação durante as aulas.

ii) A aplicação e manipulação dos três tipos de modelos diferentes – objetivo (ii) – permitiu confrontar os estudantes com diferentes abordagens para analisar e solucionar problemas do quotidiano, facilitando o desenvolvimento do pensamento crítico e da capacidade de abstração, para previsão e interpretação de resultados.

iii) A análise dos dados permitiu-nos concluir que os estudantes compreendem a importância dos modelos e da modelação em ciência – objetivo (v) –, bem como o papel dos cientistas no desenvolvimento dos modelos científicos e o seu processo de validação e aceitação pela comunidade científica. Além disso, algumas das respostas

dadas pelos estudantes, que faziam referência aos modelos usados durante a implementação do programa de intervenção, podem indiciar que a metodologia aplicada poderá ter ajudado os estudantes a compreender a importância dos modelos em ciência.

Assim, os autores consideram que a modelação, enquanto metodologia de ensino, assume um papel importante não só na promoção da construção do conhecimento e no desenvolvimento de uma aprendizagem significativa, mas também na compreensão do conceito de modelo, as suas características e a importância que desempenha na ciência. Pelo exposto, se defende que esta metodologia de ensino deveria ser aplicada com maior frequência no ensino superior português.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio prestado pelo Instituto de Ciências da Terra (ICT), sob contrato com a FCT (Fundação Portuguesa para a Ciência e Tecnologia).

6.1.8. Referências bibliográficas

- BARBOSA, Jonei Cerqueira. Modelagem e Modelos Matemáticos na Educação Científica. *Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 2, n. 2, 2009, p. 69-85.
- BOLACHA, Edite; DEUS, Helena Moita; FONSECA, Paulo Emanuel. The concept of analogue modelling in Geology: an approach to mountain building. *Proceedings of the 9th ESERA Conference*, University of Lyon, France, 2011, 7p.
- CLEMENT, John. Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, v. 22, n. 9, 2000, p. 1041-1053.
- DEUS, Helena Moita; BOLACHA, Edite; VASCONCELOS, Clara; FONSECA, Paulo Emanuel. Analogue modelling to understand geological phenomena. In *Proceedings of the GeoSciEd VI*. Joahnnesburg, South Africa, 2011.

- GOBERT, Janice. The Effects of Different learning Tasks on Model-building in Plate Tectonics: Diagramming Versus Explaining. *Journal of Geoscience Education*, v. 53, n. 4, 2005, p. 444-455.
- GRECA, Ileana Maria; MOREIRA, Marco Antonio. The kinds of mental representations – models, propositions and images – used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, v. 19, n. 6, 1997, p. 711-724.
- GRECA, Ileana Maria; MOREIRA, Marco Antonio. Mental, Physical, and Mathematical Models in the Teaching and Learning of Physics. *Science education*, 2001, p. 106-121.
- GREENHOW, Christine; ROBELIA, Beth; HUGHES, Joan. Learning, Teaching, and Scholarship in a Digital Age. Web 2.0 and Classroom Research: What Path Should We Take Now? *Educational Researcher*, v. 38, n. 4, 2009, p. 246-259.
- JOHNSON-LAIRD, Philip. N. *Mental Models. Towards a Cognitive Science of Language, Inference and Consciousness*. Cambridge: Harvard University Press, 1983, 903 p.
- JUSTI, Rosária. La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 24, n. 2, 2006, p. 173-184.
- JUSTI, Rosária; GILBERT, John. Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, v. 24, n. 4, 2002, p. 369-387.
- LIBARKIN, Julie C.; BRICK, Christine. Research Methodologies in Science Education: Visualization and the Geosciences. *Journal of Geoscience Education*, v. 50, n. 4, 2002, p. 449-455.
- KUSNICK, Judi. The STRATegy column for precollege teachers: Thinking about computer- based learning. *Journal of Geoscience Education*, v. 49, 2001, p. 212-214.
- LOUCA, Loucas T.; ZACHARIA, Zacharias. C. Modeling-based learning in science education: cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions. *Educational Review*, v. 64, n. 4, 2012, p. 471-492.
- MOUTINHO, Sara; VASCONCELOS, Clara. (in press, july 2017). Model-Based Learning applied to Natural Hazards, *Journal of Science Education*, 16p.

- OH Phil Seok; OH, Sung Jin. What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, v. 33, n. 8, 2011, p. 1109-1130.
- RODHE, Allan. Physical models for classroom teaching in hydrology. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 16, 2012, p. 3075-3082.
- TEACHING WITH models. Science online. 2015. Disponível em <http://scienceonline.tki.org.nz/Teaching-science/Teaching-Strategies/Teaching-with-models>. Acesso em 19/07/2015.
- TREAGUST, David, F.; CHITTLEBOROUGH, Gail. D.; MAMIALA, Thapelo L. Students' Understanding of the Descriptive and Predictive Nature of Teaching Models in Organic Chemistry. *Research in Science Education*, v. 34, 2004, p. 1-20.

Nota: No apêndice 8 estão disponíveis as planificações das três aulas que constituíram o programa de intervenção.

7.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1.

Model-Based Learning applied to Natural Hazards

Sara Moutinho & Clara Vasconcelos

Journal of Science Education, 18(2): 16 pages (2017).

7.1.1. Abstract

Model-Based Learning is a methodology that promotes the restructuring of students' mental models because it includes the construction of many types of models that recreate physical phenomena, to seek the development of their scientific knowledge and scientific literacy. This work aims to analyze the opinion of 20 graduation students about the use of different types of models (computational model, physical model and mixed model) in the teaching of subjects of Natural Hazards in a public university in the north of Portugal. Having this in mind, we applied a seismological models' evaluation scale, constituted by ten items that should be classified through a five-point scale, developed and validated for this purpose. The data analysis allows us to understand that, although all the models were considered important, students recognize the major importance of a mixed model in restructuring their mental models, and in helping their learning process. As so, the authors argue that the use of models should be more explored in science education, because they are important in the learning process, and in the promotion of students' interest and motivation in science lessons.

Keywords

Geosciences, Mixed models, Model-Based Learning, Science Education, Seismology.

Aprendizaje-Basado en Modelos aplicado a los Riscos Naturales

7.1.2. Resumen

El aprendizaje-basado en modelos es una metodología que promueve la reestructuración de los modelos mentales de los estudiantes, ya que incluye la construcción de diferentes tipos de modelos que recrean los fenómenos físicos, buscando el desarrollo de sus conocimientos científicos. El objetivo del estudio es analizar la opinión de 20 estudiantes de graduación sobre el uso de diferentes tipos de modelos (modelo computacional, físico y misto) en las asignaturas de Riscos Naturales en una universidad pública del norte de Portugal. Se aplicó una escala de evaluación de modelos de sismología, compuesta por diez artículos, desarrollada y validada para el estudio. El análisis de los datos permitió comprender que los estudiantes reconocen la importancia de todos los modelos, pero ellos consideran que el modelo misto es el mejor en la reestructuración de sus modelos mentales, y en el desarrollo de su proceso de aprendizaje. Los autores creen que el uso de modelos debe ser más explorado en la enseñanza de las ciencias, pues son importantes en el proceso de aprendizaje, y la promoción del interés y la motivación de los estudiantes.

Palabras clave

Aprendizaje-basado en modelos, Educación en ciencias, Geociencias, Modelos mistos, sismología.

7.1.3. Introduction

Nowadays, in science education, it is defended that students develop their knowledge through the construction of mental models, which help them to develop scientific reasoning and make decisions, being the basis of individual behaviors (Jones, Ross, Lynam, Perez & Leitch, 2011). Johnson-Laird (1983) defended that mental models are internal representations of the natural world (Orlik, 1996; Moreira, 2002) that students use to interact with the world around them. The Theory of Mental Models is based on three principles:

- (i) mental models represent what is common to a distinct set of possibilities;
 - (ii) mental models are iconic, their structure, as far as possible, corresponds to the structure of what they represent;
 - (iii) they are based on descriptions, represent what is true and observable.
- According to this theory they develop the capability of explaining and predicting the phenomena (Palmero, Acosta & Moreira, 2001), because the major purpose of mental models is to represent more accurately the properties of the real world phenomena (Orlik, 1996).

People develop mental models to explain, perceive, and understand real world behaviors (Kurnaz & Eksi, 2015), which means that mental models are personal and constructed by individuals (Moreira, 2002), based on their life experiences, perceptions, and understandings of the world (Jones *et al.*, 2011). In fact, they are related to perceptions acquired as a result of one's actions, and an external or conceptual model can be developed by generating codes about these perceptions (Kurnaz & Eksi, 2015).

In this context, Model-Based Learning has an important role in science education because it involves the construction of models that aim to recreate a physical phenomenon, seeking to respond to problem situations. It leads students to develop many relationships between objects and variables which can represent the scientific phenomenon and recreate its behavior (Louca, Zacharia & Constantinou, 2011). According to this methodology, the behavior of a phenomenon and its variables arises from its objects and engages students in the process of building and testing models of scientific phenomenon, and helps them to develop many important skills, such as scientific reasoning, scientific communication and argumentation (Justi & Gilbert, 2002).

According to Pirnay-Dummer and his collaborators (2012), Model-Based Learning provide a good change for knowledge restructure because it induces a cognitive conflict by carefully introducing contradictory facts to those which students believe. This cognitive conflict is necessary to construct new knowledge over their prior existing mental models (Pirnay-Dummer, Ifenthaler & Seel, 2012). Thus, model-based learning is considered fundamental in the building of students' scientific knowledge and in the promotion of scientific literacy, assuming an important role in the development of meaningful learning (Gobert *et al.*, 2011).

Johnson-Laird defends that there is not only one mental model to represent a particular phenomenon, which means that there may be several, even if only one of them is scientifically consistent with it (Moreira, 1996). In this context, it is assumed that there are also many types of models that can be constructed and applied through modeling (Vasconcelos *et al.*, 2015). Many authors defend the importance of establishing a typology of models, trying to help science teachers to distinguish them and to select the best models to apply in their classroom with their students.

Boulter & Buckley (2000) consider that categorizations enable groupings according to their similarities, and classifications are usually constructed to highlight these similarities between types, but also to facilitate description and to reduce complexity. In fact, categorization is a crucial personal process in making sense of the world, and the human mind is set upon making sense of the big range and complexity of the impressions that we are able to experience (Bailey, 1994). Categorization should allow us:

- (i) to structure and give coherence to the world of models and to organize the diverse range of models into a usable form;
- (ii) to predict patterns as we seek to fit new models into the categories;
- (iii) and to ask useful questions about the progression of models in the learning process and within the development of science (Boulter & Buckley, 2000).

All categorization is valid if properly justified according to the purpose of the study, and providing that it is simple and clear to be easily understood, both by teachers and students. In this work the categories of models were delineated according to their functional characteristics and three types of models were defined: computational model, physical model and mixed model.

The first model that was used was the computational model, which consists in a computer program (software) that contains a model of a process, and is typically used to create images of phenomena, to find and test relationships in complex systems, and to

test multiple hypotheses (Gilbert & Ireton, 2003). This computational model is available in the internet (Earthquakes, Make-a-Quake: Earthquake Simulator), and its manipulation was accompanied by a *Model Exploration Document*, developed by the authors.

According to De Jong and Van Joolingen (1998), computational models can be divided into two types: simulations containing conceptual models and simulations based on operational models. The first one hold principles, concepts, and facts related to the phenomenon being simulated, such as the seismic effects on soils and buildings, as was simulated in the computational model applied in this study. The operational models include sequences of cognitive and non-cognitive operations that can be applied to the simulated phenomenon.

The use of these types of models led teachers:

- (i) to save time in class, allowing them to devote more time to the students rather than to the set-up and supervision of experimental equipment;
- (ii) to allow the manipulation of experimental variables, help the students for stating and testing hypotheses;
- (iii) and to provide ways to support understanding of many representations, such as diagrams and graphs (Rutten, Van Joolingen & Van Der Veen, 2012).

It is well known that students of all ages like to play with the computer, so all kinds of computational software are very interesting and helpful for teaching (Orlik, Gil, Moreno & Hernández, 2005), because they increase the students' motivation. Moreover, these types of software create a friendly learning environment while introducing and explaining some important science concepts (Orlik *et al.*, 2005). In spite of its recognized importance in improving the educational standards of science teaching, because the variety of software makes it possible to get better results in instruction compared with traditional methods of education (Orlik, 1997), there is no consensus about the advantages of computational simulations because, some authors noticed that students working with these models, were unable to deal with unexpected results and that they did not use all the experimenting possibilities that were available. This situation stems from the lack of preparation of teachers to explore such models correctly with students. Thus, it is argued that the approach to the models in the classroom should be accompanied by some instructional support that helps students on a guided manipulation of the model (De Jong & Van Joolingen, 1998), and therefore it is necessary that teachers develop abilities to use computers in their classes (Orlik, 1997).

In this study it was also applied another type of model – physical model, also named material model (Chamizo, 2010). Basically, these models consist of a type of simulation used to communicate some phenomena with other individuals. Physical models express mental models that are articulated through a specific language (Chamizo, 2010), and where students directly manipulate the variables, and correspond to the regular simulations that are usually used in science education.

Physical models provide operational descriptions of physical systems (Louca & Zacharia, 2012), allowing to represent phenomena in which one or more elements of a system is changing over time, and given the dynamic character it allows students to simulate and observe a certain natural phenomenon and which variables are involved in it. Therefore it summarizes the key aspects of the theory, so that students can more easily visualize their explanatory principles (Greca & Moreira, 2001).

These types of simulations are very useful because they let the recreation of natural phenomena that cannot be reproduced in the classroom, and help students to understand the phenomena, because they consist in concrete representations of abstract ideas in science (Louca & Zacharia, 2012).

As we know, there are many natural phenomena that cannot be reproduced in the science classroom because of time and scale constraints, for example geological phenomena. Consequently, physical models are accessible for students, and teachers know that they enjoy to manipulate them (Harrison & Treagust, 2000), so the application of these models stimulates students' motivation. It is defended that teachers should be sensitive to the familiarity, similarities and differences between the models that they use to explain scientific phenomena, so they can help students to understand it and to develop their knowledge. It is argued that students could develop the ability to produce, test and evaluate these models, as well as their dynamics, through the manipulation of physical models. Therefore they could improve their interest and have a deeper understanding of the real changes that have occurred in the course of Earth history (Deus, Bolacha, Vasconcelos & Fonseca, 2011).

At last, it was applied a different type of model named mixed model. This model includes two components: a physical component (from the physical model) and a computational component (from the computational model), so it is basically a richer model than the previous one, because it covers some of the characteristics of the other two models that were applied. In this study, the mixed model applied consisted in a

seismic shaking table, as the physical component, which let us to simulate the earthquake in the classroom. The seismic shaking table was connected to a seismograph that recorded the propagation of seismic waves, presenting the results, through a computer software, as seismogram (computational component).

The use of mixed models is fundamental to present complex concepts, because each component of the model refers to different dimensions of the same concept (Gilbert & Ireton, 2003; Vasconcelos *et al.*, 2015).

Given the particularities of Geology as a science, and taking into account the difficulties inherent to the teaching of science, as the issue of temporal and geographic scale, or the behavior of materials existing in nature, it is easy to understand the need to improve the models generally used for simulating the geological phenomena (Moutinho, Moura & Vasconcelos, in press).

Boulter and Buckley (2000) defend that learning models often require multiple components to convey information about the phenomenon, such as *animations of structures to convey behaviors plus narration to explain the causal mechanism* (p. 46). Having this in mind, mixed models are, in fact, a type of models that articulate all the components that were needed to include for simulating the natural phenomenon. Considering this characteristic of mixed models, they could be assumed as an important learning strategy to help students in the construction of their scientific knowledge, because they promote the development of skills that enable students to become informed citizens and to be able to solve everyday problems.

Despite the potential of Model-Based Learning, it requires a specific knowledge, training, and an appropriate educational context to be successful. Then, the teachers' role remains essential in the whole learning process (Libarkin & Brick, 2002), but they need to take awareness so that they can develop strategies to enable the restructuring of students' mental models.

7.1.4. Methodology applied in the investigation

The purpose of the study was to analyze the opinion of graduation students about the three types of models used during the lessons about the seismic effects on soils and buildings. Each one of the three models was applied in a three different classes, using Problem-Based Learning as learning strategy, because, in all classes, students were confronted to problems related to (seismic) natural hazards, that they should solve through the manipulation of the models.

Hence, it was developed and validated a scale, named *Seismological Models' Evaluation Scale – SMES* (Moutinho, Moura & Vasconcelos, 2014), that was constituted by ten items that evaluate each one of the three models (computational model, physical model and mixed model) that are manipulated during the classes. In the scale, each item should be classified according to a five points scale (from 1 - *Totally disagree* to 5 - *Totally agree*).

After collecting the data, they were statistically analyzed through the 23rd version of a statistical program SPSS. In this study it was used a nonparametric test and its selection was made having in consideration the dimension of the sample, which was too small to assume the normality (McDonald, 2014). It was defined a confidence level of 95% which represents a significance level of 0.05.

In this study it was selected a convenience sample, which includes 20 graduation students from a curricular unit of Geological Hazards, ministered in a northern Portuguese public university. The study sample was constituted by 10 females and 10 males, with an average age of 21.6 years old, ranged 20 to 24 years old.

The samples that are defined for the statistical test are also paired, because the purpose of the study is to compare values that are different measures of an individual. As so it was applied the Wilcoxon Test, a nonparametric test recommended to paired and small samples, with a non-normally distribution (McDonald, 2014).

7.1.5. Results and discussion

After the analysis of the data with the statistical program SPSS, the results are presented in table 7.1.

Table 7.1. Statistical information about computational, physical and mixed model (n=20).

	Computational model	Physical model	Mixed model
Average	36.2	33.9	36.4
Standard Deviation	6.70	5.15	5.92
Minimum	21	24	26
Maximum	48	45	50

According to table 7.1., it is possible to understand that for the study sample (n = 20), the mixed model is the one with the highest average (36.4), followed by the computer model (36.2), although this model presents the largest standard deviation value (6.70).

The mixed model has a standard deviation value of 5.92, but the model with the lowest standard deviation value is the physical model (5.15). Moreover, the analysis of the data from table 1 shows that the mixed model presents higher maximum and minimum values, 50 and 26, respectively; while the computational model has the lowest minimum value (21) and the physical model has the lowest maximum value (45).

For that reason, the data analysis led us to understand that the mixed model is the one that, besides having an higher average, also has one of the smallest standard deviation values between higher maximum and minimum values.

Therefore, graduation students consider that the mixed model is the best model for helping in the construction and development of the students' learning process. The other two types of models (computational and physical) have also higher average values, however these models have higher standard deviation values, which led us to consider these values not to be so precise.

7.1.5.1. Nonparametric Test – Wilcoxon Test for paired samples

As we have already referred in the methodology section, as the study sample was small and didn't have a normal distribution, it was decided to use a nonparametric test, named Wilcoxon Test. For the application of this statistical test, three hypotheses were defined (HA, HB and HC):

H0: The ordinations average of the computational model importance in the learning process is equal to the ordinations average of the importance attributed to the physical model in the learning process.

HA: The ordinations average of the computational model importance in the learning process is different from the ordinations average of the importance attributed to the physical model in the learning process.

H0: The ordinations average of the computational model importance in the learning process is equal to the ordinations average of the importance attributed to the mixed model in the learning process.

HB: The ordinations average of the computational model importance in the learning process is different from the ordinations average of the importance attributed to the mixed model in the learning process.

H0: The ordinations average of the physical model importance in the learning process is equal to the ordinations average of the importance attributed to the mixed model in the learning process.

HC: The ordinations average of the physical model importance in the learning process is different from the ordinations average of the importance attributed to the mixed model in the learning process.

According to the hypotheses that have been established, the Wilcoxon's nonparametric test for paired samples was applied. In this case bilateral tests were used because the data only let us ascertain whether the hypotheses are different or not, but we could not determine what is the tendency of this difference (if it exists). The results of the Wilcoxon test are organized and presented in table 7.2.

Table 7.2. Results of Wilcoxon test for the three tested hypotheses (n=20).

	HA Computational – Physical	HB Computational – Mixed	HC Physical – Mixed
Z	-1.674	-0.379	-2.094
Significance (bilateral)	0.097	0.723	0.035

It was defined a confidence level of 95% and a significance level of 0.05. The results of the Wilcoxon test (table 7.2.) show that only the difference between the physical and the mixed model is, in fact, significant, because of the value of $p < 0.05$.

There is no significant improvement in the students' learning with both other types of intervention. Thus, mixed models are the best type of models to promote the construction of knowledge, which includes the restructure of students' mental models to make them more congruent with school science models.

7.1.6. Conclusions

This study led us to understand that graduation students recognize some importance in the application of the three types of models in geosciences lessons, because all the three types of models obtained similar average values. However, graduation students consider that mixed models are the best type of models to promote the construction of scientific knowledge, and the restructure of students' mental models.

In fact, these results led the authors to consider that because of its characteristics, mixed models are the most complete models to apply in geosciences lessons. These models have two important characteristics: first of all they have a computational component that promote the interest and motivation of students, because 21st century is the technology century, and so students are familiarized with electronic devices, such as computers. On the other hand, this type of model also has a physical component, that allows students to observe directly the phenomenon occurrence, which help them to understand what happens in nature, even knowing that what they observe is only a natural phenomenon simulation. Therefore, the authors consider that these types of

models should be more explored in science education, because they are important not only in the learning process, but also in the promotion of students' interest and motivation in science lessons. Modeling and the manipulation of models help students to develop some attitudinal skills, because it allows students to analyze problem situations, to formulate questions and to observe and understand how natural phenomena occur, and at the same time, to develop scientific reasoning and argumentation skills. During this process, students understand if their mental models are consistent with the curricular model of the phenomenon, and if they are not, they naturally restructure them to make their mental models congruent with the curricular model. This process is very important because it allows students to develop a meaningful learning.

Acknowledgements

The authors acknowledge the funding provided by the Institute of Earth Sciences (ICT), under contract with FCT (Portuguese Science and Technology Foundation).

7.1.7. References

- Bailey, K.O., *Typologies and Taxonomies: An Introduction to classification techniques*, Thousand O.k., Sage Publications, California, USA, 1994.
- Boulter, C. J. & Buckley, B. C., Constructing a typology of models for science education, In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.). *Developing Models in Science Education*, Kluwer Academic Publishers, London, England, 41-58, 2000.
- Chamizo, J. A., Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7[1], 26-41, 2010.
- De Jong, T., & Van Joolingen, W. R., Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains, *Review of Educational Research*, 68[2], 179-201, 1998.
- Deus, H. M., Bolacha, E., Vasconcelos, C. & Fonseca, P. E., Analogue modelling to understand geological phenomena, In *Proceedings of the GeoSciEd VI*. Joahnnesburg, South Africa, 2011.

- Earthquakes, Make-a-Quake: Earthquake Simulator. Available in <https://www.cosmeo.com/braingames/makeaquake/?title=Make%20a%20Quake> (consulted in 07/02/2016).
- Gilbert, S. W. & Ireton, S. W., *Understanding Models in Earth and Space Science*, National Science Teachers Association, Virginia, USA, 2003.
- Gobert, J. D., O'Dwyer, L., Horwitz, P., Buckley, B. C., Tal Levy, S. & Wilensky, U., Examining the Relationship Between Students' Understanding of the Nature of Models and Conceptual Learning in Biology, Physics, and Chemistry, *International Journal of Science Education*, **33**[5], 653-684, 2011.
- Greca, I. M. & Moreira, M. A., Mental, Physical, and Mathematical Models in the Teaching and Learning of Physics, *Science education*, **86**[1], 106-121, 2001.
- Harrison, A. G. & Treagust, D. F., A typology of school science models, *International Journal of Science Education*, **22**[9], 1011-1026, 2000.
- Johnson-Laird, P. N., *Mental Models. Towards a Cognitive Science of Language, Inference and Consciousness*, Harvard University Press, Cambridge, England, 1983, 1-513.
- Jones, N. A., Ross, H., Lynam, T., Perez, P. & Leitch, A., Mental models: an interdisciplinary synthesis of theory and methods, *Ecology and Society*, **16**[1], 1-46, 2011. Available in <http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss1/art46/> (consulted in 10/10/2015).
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K., Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modelers, *International Journal of Science Education*, **24**[4], 369-387, 2002.
- Kurnaz, M. A. & Eksi, C., An Analysis of High School Students' Mental Models of Solid Friction in Physics, *Educational Sciences: Theory & Practice*, **15**[3], 787-795, 2015.
- Libarkin, J. C. & Brick, C., Research Methodologies in Science Education: Visualization and the Geosciences, *Journal of Geoscience Education*, **50**[4], 449-455, 2002.
- Louca, T. L. & Zacharia, C. Z., Modeling-based learning in science education: cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions, *Educational Review*, **64**[4], 471-492, 2012.
- Louca L. T., Zacharia, Z. C. & Constantinou, C. P., In Quest of Productive Modeling-Based Learning Discourse in Elementary School Science, *Journal of Research in Science Teaching*, **48**[8], 919-951, 2011.

- McDonald, J. H., *Handbook of Biological Statistics*, 3rd Edition, Sparky House Publishing, Baltimore, Maryland, USA, 186-189, 2014. Available in <http://www.biostathandbook.com/wilcoxonsignedrank.html> (consulted in 03/10/2015).
- Moreira, M., Modelos Mentais, *Investigações em Ensino de Ciências*, 1[3], 193-232, 1996.
- Moutinho, S., Moura, R. & Vasconcelos, C., Modelação em Geociências nos Dias Abertos às Escolas, *Comunicações Geológicas*, [101], 1325-1328, 2014.
- Moutinho, S., Moura, R. & Vasconcelos, C., O efeito dos sismos em solos e edifícios: Aplicação de um Programa de Intervenção dirigido a estudantes de Licenciatura recorrendo à Modelação. *Revista Montagem: Centro Universitário Moura Lacerda*, [16], 117-131, 2014.
- Orlik, Y., *Chemistry: Active methods of teaching and learning*, Iberoamerica Publications, Mexico, 358 pp., 2002 (ISBN 970-625-280-0).
- Orlik, Y., Teaching educational informatics for students future chemistry teachers, In J. Willis, J. D. Price, S. Mcneil, B. Robin & D. A. Willis (Eds.). *Technology and teacher education annual. Proceedings of the international conference of the society for information technology and teacher education*, 1, 971-973, 1997.
- Orlik, Y., Gil, E., Moreno, A. & Hernández, L. C., Algunos aspectos metodológicos de aplicación del juego científico para popularización de las ciencias naturales en los colegios, *Universitas Scientiarum*, 10, 55-68, 2005.
- Palmero, M. L. R, Acosta, J. M. & Moreira, M. A, La Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird y sus principios: una aplicación con Modelos Mentales de célula en estudiantes del curso de orientación universitaria, *Investigação em Ensino de Ciências*, 6[3], 243-268, 2001.
- Pirnay-Dummer, P., Ifenthaler, D. & Seel, N. M., Designing Model-Based Learning Environments to support Mental Models for Learning, In D. Jonassen & S. Land (Eds.). *Theoretical Foundations of Learning Environments*, 2nd Edition, Routledge, New York, USA, 2012.
- Rutten, N., Van Joolingen, W. R. & Van Der Veen, J. T., The learning effects of computer simulations in science education, *Computers and education*, 58, 136-156, 2012.
- Vasconcelos, C., Moura, R., Torres, J., Moutinho, S. & Lima, A., Replica of a shaking table from the XIX century: a workshop applied to higher education students, *SGEM2015 Conference Proceedings*, Book 5, 3, 1045-1052, 2015.

7.2.

Mental Models about Natural Hazards: A study with graduation students

Sara Moutinho, Rui Moura & Clara Vasconcelos

16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016,
7 pages, Albena, Bulgaria (in press, 2017).

7.2.1. Abstract

According to Johnson Lairds' Mental Models Theory, people develop internal representations of the natural world – mental models – that they use to interact with the world and understand the phenomena around them. Having this in mind, we could understand that students develop their knowledge through the construction of mental models, which help them to develop scientific reasoning and make decisions, being the basis of individual behaviors.

In this context, it is assume the use of methodologies that enable students to restructure their mental models to make them more consistent with the scientific models. Model-Based Learning is a methodology that allows students to construct their knowledge, through the manipulation of models that promote an autonomous, dynamic, motivating and meaningful learning. Based on Model-Based Learning it was developed an intervention program which included the manipulation of three types of models – computational model, physical model and a mixed model – that allows the study of the seismic effects on soils and buildings. This intervention program was applied to 20 graduation students from a public university in Portugal.

This work aimed to analyze the development of 20 graduation students' knowledge about the natural hazards trough their answers in a pre and post-test, applied before and after the intervention program, where they could manipulate the three types of models to solve some problems related to seismological hazards.

The analysis of the results led us to conclude that the post-test, applied after the intervention program, allows seeing a significant increase in students' knowledge, related to natural hazards. As so, the authors argue that the use of models should be more explored in science education, because they are important in the learning process, since they help students in the restructure of their mental models, to make them more congruent with the scientific models.

Keywords

Higher education students, meaningful learning, mental models, natural hazards, seismology.

7.2.2. Introduction

Nowadays, science education is concerned with students' scientific literacy, since they are future citizens in a democratic society in which they will be invite to actively intervene to discuss the policies of a nation. Therefore, it is argued that science education should enhance meaningful learning, promoting the autonomy of students, considering fundamental the application of methodologies that foster the development of scientific knowledge of students in a dynamic, critical and responsible manner [1].

School, as a place of learning, is the stage where occur permanent changes in students' behaviour and knowledge as a result of their experiences. However, the way the students observe and understand the world depends on what is in it, and the characteristics of the human mind [2], assuming that it has the ability to process information and interpret the world through the manipulation of symbols. This process results in the development of mental models of the students that allow them to understand the world in which they live and to respond to everyday situations that they face. If science education fosters the contact of students with models that make them to reflect and evaluate their own mental models, may be created the ideal conditions for the promotion of a meaningful learning.

7.2.3. Theoretical framework

7.2.3.1. Mental Models and Model-Based Learning in Science Education

It is known that meaningful learning assumes a central role in science education. Mental models are extremely important to develop the meaningful learning because they are representations of the external world which are developed by the human mind [3], [4]. They are important to understand the knowledge construction process.

As we know, people understand the natural world based on mental models that they develop since they born. These mental models, according to Johnson-Laird [2], are internal representations which help the comprehension of the phenomena, because they allow people to develop the ability to explain and predict phenomena. Having this in mind, we could easily understand that mental models are simple and always represent concrete entities, because they are generate by the human mind that is “limited” [1]. In spite of their limitations when compared with scientific models – created by scientists to represent an idea, an object or a process, corresponding to scientifically accepted models which reflect the representation of the thinking of scientists [1] –, they represent a simplified and analogue knowledge that sometimes is not recognized by scientific community.

During their learning process, students construct their mental models for a theory with all knowledge that they learn. However the mental models that they construct are not scientifically precise, complete or consistent.

In this context, teachers have an important role because they should develop activities that help students in the restructuring process of their mental models [3], trying to make them more scientifically consistent. If students are able to improve their mental models about a particular phenomenon, they develop a meaningful learning because they comprehend some concepts that will be articulated in order to help them to understand the real world.

Nowadays, being a science teacher is not easy, because they have to be the capability to develop activities to:

- (i) evaluate the students’ prior knowledge, which is, their mental models about the phenomena, which means that they “must be aware of the most frequent alternative conceptions developed by students by the topic under study” [5];

- (ii) analyse if these mental models are scientifically consistent, and if not, understand what they should do to help students to restructure them;
- (iii) confront students with problem-situations that lead them to question their mental models, in order to solve the problem;
- (iv) and assess whether the mental models of the students have changed, in order to become more congruent with the scientific models.

With the recognized importance of models in science education comes the need for applying methodologies that help them to achieve all these purposes more easily, such as Model-Based Learning [6].

Model-Based Learning is considered integral to the inquiry learning process in that students have to build models to express their understanding of the relation between variables, and they can check their understanding by running the model, and analyzing the data from simulation against their prior knowledge [7]. The use of models in the learning process simplifies natural phenomena and promotes a deeper understanding of natural processes' dynamics and their variables. This methodology approaches the students learning process of the phenomenon to their mental models, which is the way that they develop their knowledge naturally.

Besides all these characteristics of Model-Based Learning, it is also important to reflect about their role in Geosciences' teaching. Given the particularities of Geology as a science, and taking into account the difficulties inherent to the teaching of this science, (i) as the issue of temporal and spatial scale; (ii) the dynamic behavior of Earth, and all cyclic phenomena associated with this dynamism; (iii) or the fact that the geological phenomena involves not only geology content but also from other disciplines, making it an interdisciplinary science, it is easy to understand the need to improve the models generally used for simulating the geological phenomena [8].

Having this in mind, Model-Based Learning represents an indispensable methodology in Geosciences teaching, since it uses models which are, in fact, simulations of the natural phenomena, which is difficult to observe in nature.

Aware of the importance and necessity of the application and manipulation of models in the geosciences teaching, the authors conducted a study with the purpose of analyzing the evolution of graduation students' mental models related to the seismic effects on soils and buildings, by the manipulation of many types of models, using the Model-Based Learning as methodology.

As Johnson-Laird defends that there is not only one mental model to represent a particular phenomenon, which means that there may be several, even if only one of them is scientifically consistent with it [9], it is assumed that there are also many types of models that can be constructed and applied through modelling.

Considering all the information available about the typology of models that exists nowadays, the authors chose to explore three types of models that are present bellow:

- (i) Computational model, which consists in a computer program (software) that contains a model of a process, and is typically used to create images of phenomena, to find and test relationships in complex systems, and to test multiple hypotheses [10].
- (ii) Physical model, a type of simulation used to communicate some phenomena with other individuals. Physical models express mental models that are articulated through a specific language [11], and where students directly manipulate the variables, and correspond to the regular simulations that are usually used in science education.
- (iii) Mixed model, which includes two components: a physical component (from the physical model) and a computational component (from the computational model), so it is basically a richer model than the previous one, because it covers some of the characteristics of the other two models that were applied.

All the three models were used to teach some concepts related to seismological hazards, such as: seismic waves and their characteristics, seismic risk and the variables that influenced it, the characteristics of soils and buildings that make them more vulnerable to the earthquake, seismic prevention and prediction, and the analysis and discussion of some seismic risk situations.

Before the exploration of the models, students' mental models about the subject were analyzed through a questionnaire (pre-test) that were applied again at the end of the classes (post-test), to assess the evolution of students' mental model. The questionnaire is presented in Methodology section.

7.2.4. Methodology

This study consists in a quasi-experimental study, where it was applied a questionnaire (pre and post-test) to evaluate the evolution of the students knowledge about the seismic effects on soils and buildings.

Both pre and post-test have the same questions, but one of them (pre-test) was applied before the application of an intervention program, that consisted in three classes, each one with a duration of four hours (during three consecutive weeks), to teach some concepts related to seismological hazards through Model-Based Learning: in these classes was explored and manipulated the three type of models – computational model, physical model and mixed model. At the end of the intervention program, students answered to post-test.

The questionnaire (pre and post-test) had fifteen items about the seismic effect on soils and buildings. It was adapted from a Two-Tier Diagnostic Test, elaborated by Monteiro and his collaborators [12], to the Portuguese university students' population. It was also validated by the study sample [1], [13]. Each item of the questionnaire had two tiers. The first tier has a sentence relating the seismic effects on soils and buildings, and students should classify each one into *True*, *False* or *Don't know*. The second tier has four sentences which justify the previous answer and students had to choose one of them. One of the option consisted in an open-ended option (option d – *other*). In this case, students can indicate their own explanation for the item. Students who select the option *don't know* on the first tier, didn't answered to the second tier.

For the analysis of the data it was defined a classification of 4 for questions which both tiers were correct; 3 if only second tier was incorrect; 2 if both tiers were incorrect, 1 the first tier was incorrect and the second tier was correct. In this case, students showed that they don't know how to classify the sentences as true or false, but that they selected the option which correctly explains the sentence, so it was considered a contradiction. Finally, 0 if students answered Don't know in first tier.

Since the questionnaire has fifteen items and the maximum score in each item are 4 points, the maximum score in the questionnaire are 60 points.

This study was applied to a convenience sample of 20 graduation students from a curricular unit of Geological Hazards, ministered in a northern Portuguese public university. The sample was constituted by 10 females and 10 males, with an average age of 21.6 years old, ranged 20 to 24 years old.

7.2.5. Results

After collecting the data, they were analysed through the 23rd version of a statistical program SPSS. The results are present in table 7.3.

Table 7.3. Students' results in Pre and Post-Test. (n=20)

	Average	Standard Deviation	Minimum	Maximum
Pre-Test*	32.8	8.24	17	41
Post-Test*	49.9	5.55	41	58

* Pre and post-tests' maximum score (15 items): 60 points

According to table 7.3., the average of the students' results in post-test (49.9) is higher than the pre-test (32.8). Moreover, table 7.3. also let us ascertain that the minimum and maximum values in the questionnaire are also higher in post-test (min = 41; max = 58) comparing to pre-test (min = 17; max = 41). All these results allow us to check an increase in students' scientific knowledge related to the seismic effects on soils and buildings.

After obtained and discussed these data, it was considered important to do a deeper analysis of the results of students in the two tests, to determine if the results are significant in the context of the study. For this purpose, it was used the Wilcoxon Test.

7.2.5.1. Wilcoxon Test for the analysis of the data

Wilcoxon Test is a non-parametric test used to compare two paired samples when the study sample was small and didn't have a normal distribution. However, it was only necessary to analyze if these results are significant in the context of the study, according to the sample dimension. The application of this statistical test assumes the definition of a hypothesis, and for this study it was defined:

H0: The ordinations average of the students' results in the post-test is equal to the ordinations average of the students' results in the pre-test.

HA: The ordinations average of the students' results in the post-test is higher than the ordinations average of the students results in the pre-test.

In this case a unilateral test was used because the data let us ascertain what the tendency of this difference, which means that the tendency is to increase or decrease the students' results.

The results of the Wilcoxon test make us reject H_0 for a confidence level of 95% ($Z = -3.921$; $p = 0.000$), and led us assumed that post-test, applied after the intervention program where were manipulated the three models, allows us ascertain a significant increase in students results, which means that they probably increase their knowledge (mental models) about the seismic effects on soils and building.

7.2.6. Conclusions

This study led us to conclude that students' knowledge about the seismic effects on soils and buildings increased after the intervention program where were applied and manipulated the computational model, the physical model and the mixed model. In fact, the manipulation of models has a great importance because it helps students to solve problems situations, to construct their scientific knowledge, to develop scientific reasoning and argumentation skills.

However, in this methodology (Model-Based Learning) is fulcral that teachers understand how to introduce these (or others) models in science lessons and have the ability to develop models that can be fit into diverse classroom activities [13]. As so, the authors consider that models should be more explored in science education, because they are important not only in the learning process, but also in the promotion of students' interest and motivation in science lessons.

Acknowledgements

The authors acknowledge the funding provided by the Institute of Earth Sciences (ICT), under contract with FCT (Portuguese Science and Technology Foundation).

7.2.7. References

- [1] Moutinho, S., Moura, R. & Vasconcelos, C. Mental Models about Seismic effects: Students' profile based comparative analysis. *International Journal of Science and Mathematics Education*, vol. 14/issue 3, pp 391–415, 2016.
- [2] Johnson-Laird, P. N. *Mental Models. Towards a Cognitive Science of Language, Inference and Consciousness*. Cambridge: Harvard University Press, 1983.
- [3] Torres, J., Moutinho, S., Almeida, A., Pereira, C. & Vasconcelos, C. Pupils' Mental Models of Earths' Internal Structure, *6th ICERI: International Congress of Education, Research and Innovation*. Sevilha, 2013.
- [4] Moreira, M. A., Greca, I. M. & Rodriguez, P. M. L. Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza/aprendizaje de las Ciencias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, vol. 2/issue 3, pp 37–57, 2002.
- [5] Mendonça, P. C. C. & Justi, R. Contributions of the Model of Modelling Diagram to the Learning of Ionic Bonding: Analysis of a Case Study. *Research In Science Education*, vol. 41, pp 479–503, 2011.
- [6] Gobert, J. D. & Buckley, B. C. Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp 891–894, 2000.
- [7] Mulder, Y. G., Lazonder, A. W., De Jong, T., Anjewierden, A. & Bollen, L. Validating and Optimizing the Effects of Model Progression in Simulation-Based Inquiry Learning. *Journal of Science Education and Technology*, vol. 21, pp 722–729, 2012.
- [8] Campbell, K., Overeem, I., Berlin, M. Taking it to the streets: The case for modeling in the geosciences undergraduate curriculum, *Computers & Geosciences*, 53, pp 123–128, 2013.
- [9] Moreira, M. Modelos Mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, vol. 1/issue 3, pp 193–232, 1996.
- [10] Gilbert, S. W. & Ireton, S. W., *Understanding Models in Earth and Space Science*, National Science Teachers Association, Virginia, USA, 2003.

- [11] Chamizo, J. A., Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 7/issue 1, pp 26–41, 2010.
- [12] Monteiro, A., Nóbrega, C., Abrantes, I. & Gomes, C. Diagnosing Portuguese Students' Misconceptions about the Mineral Concept. *International Journal of Science Education*, vol. 34/issue 17, pp 2705–2726, 2012.
- [13] Moutinho, S., Moura, R. & Vasconcelos, C. (2014). Students' Mental Models about the effects of earthquakes on soils and buildings. *Proceedings of 14th GeoConference on Ecology, Economics, Education and Legislation Conference (SGEM)*, Bulgaria, pp 687–692, 2014.

7.3.

Contributions of Model-Based Learning to the restructuring of graduation students' Mental Models on Natural Hazards

Sara Moutinho, Rui Moura & Clara Vasconcelos

Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education
13: 1-25 (2017).

7.3.1. Abstract

Model-Based learning is a methodology that facilitates students' construction of scientific knowledge, which, sometimes, includes restructuring their mental models. Taking into consideration students' learning process, its aim is to promote a deeper understanding of phenomena's dynamics through the manipulation of models.

Our aim was to ascertain whether the use of three different types of models, integrated into an intervention program whose goal was to teach the "seismic effects on soils and buildings", would influence the learning process of graduation students or not. For a better understanding of the results, the data were collected and analyzed through a combination of methods using, simultaneously, quantitative and qualitative method. And results not only confirmed the importance of the use of models, but also led us to the conclusion that despite the potential and limitations of all three models, mixed models are better for restructuring students' mental models and the development of meaningful learning.

Keywords

Science education, Mental Models' Theory, Model-Based Learning, Natural Hazards, Seismology.

State of literature

- People develop mental models that lead them to understand all natural phenomena. Because of this they constitute their prior knowledge, and they are reconstructed during peoples' learning process;
- Model-Based Learning is a methodology that promotes the construction of students' mental models through the manipulation of different models in geosciences classes, named teaching models;
- There are different types of models that can be apply in geosciences classes, according the subjects in study, students characteristics, teachers preparation and the available resources.

Contribution to the Literature

- According to the importance of Mental Models Theory, we examined students' mental models about the seismic effects on soils and buildings, in order to help us in the development of an intervention program that promotes the reconstruction of students' mental models;
- Given the variety of models to teach subjects related to natural hazards, we applied three different types and tried to analyzed their potentialities and limitations;
- We also determine which one of the three types of models is better to help students in the construction of their knowledge about the topics in study.

7.3.2. Introduction

Teaching science in schools and developing scientific literacy helps students to become more mature, productive and responsible members of society (Sato, Bartimoro & Elko, 2016). The entire school community is responsible for achieving this goal but teachers play the most crucial role. In spite of this relevance, many science teachers still consider students to be rather simplistic thinkers. This is an erroneous belief. If guided, students may develop an extremely sophisticated, precise and abstract thinking (Duschal, Schweingruber & Shouse, 2000). Accordingly, teachers are required to apply methodologies and strategies deemed suitable for helping students to construct their scientific knowledge, together with the development of other important capabilities, such as scientific reasoning, critical analysis and reflection.

The use of models helps to explain phenomena and further prompts students to develop their own personal mental models. These are formed alongside a given theory, intertwining all the knowledge that is acquired during the learning process (Moutinho et al., 2013). Indeed, curricular models are quite useful and valuable when explaining an abstract scientific theory. They are scientifically consistent and yet simpler and more tangible than scientific models. As such, the process of teaching and learning scientific contents at school may benefit from the use of precise curricular models, which are consistent with scientific models (Moreira et al., 2002). Moreover, curricular models have an important role to play not only in scientific practice but also in Science Education, standing out as a powerful tool that helps to involve students in the process of thinking about science (Halloun, 2007; Justi & Gilbert, 2002; Oh & Oh, 2011).

Geosciences teachers use models as recognized tools that are capable of helping students in the process of knowledge construction and in restructuring their mental models, making them consistent with the curricular models (Rodhe, 2012). The use of models stimulates students to learn certain aspects of a particular curricular model. Since they are accurate representations of parts of reality, the phenomenon that is represented becomes less abstract and students become more motivated and interested in the learning process (Justi, 2006). Different types of models can be applied in geosciences classes. The choice will depend on the characteristics of the phenomenon under study. In this research, three different models were applied – a computational model, a physical model and a mixed model.

Computational models are computer programs that model processes. They are used to create images of the phenomena, to find and test relationships within complex

systems, and to test multiple hypotheses (Gilbert & Ireton, 2003). Generally speaking, all students enjoy playing computer games. As such, all kinds of computational software are perceived as interesting and helpful. Alternatively, physical models are simulations used to recreate and communicate certain phenomena, while allowing students to directly manipulate all the variables that could influence the phenomenon. These models [computational and physical] are the most common models applied in science classes (Moutinho, Moura & Vasconcelos, 2014a). This research resorts to a physical model – a mechanical seismic shaking table.

The mixed model applied in this study included two components: a physical component (from the physical model) and a computational component (from the computational model). These models are quite relevant since they facilitate the presentation of complex concepts. Each component of the model refers to a different dimension of the same concept (Gilbert & Ireton, 2003; Vasconcelos et al., 2015).

The use of methodologies is believed to be capable of helping students to restructure their mental models, bringing them closer to curricular models.

According to Pirnay-Dummer and collaborators (2012), Model-Based Learning provides a good opportunity for knowledge restructuring since it induces a cognitive dissonance, by carefully introducing facts that contradict those believed by students. This cognitive conflict is required if new knowledge is to be constructed upon prior existing mental models (Pirnay-Dummer, Ifenthaler & Seel, 2012). Using models in the learning process simplifies (the understanding of) natural phenomena and promotes a deeper understanding of the dynamics and of the variables involved in natural processes. This methodology takes into consideration the way the learning process relates to students' mental models, i.e., the way students inherently build their knowledge (Moutinho, Moura & Vasconcelos, 2014a). Accordingly, Model-Based Learning is considered to be central to the process of constructing scientific knowledge and promoting scientific literacy. It holds a central role in the development of meaningful learning (Gobert et al., 2011).

Nonetheless, since curricular models taught in science classes may conflict with students' mental models, they may hinder conceptual change (Moutinho et al., 2013). Better saying, scientific contents used to describe curricular models may conflict with vocabulary and concepts that students recognize through the use of everyday language (Clement, 2000).

Lets not forget that mental models are internal representations that help to understand as well as to explain and predict phenomena (Greca & Moreira, 1997; Johnson-Laird, 1983). A few characteristics are noteworthy: i) mental models represent what is common within a distinct set of possibilities; ii) they are iconic and their structure

corresponds as closely as possible to that they represent; iii) mental models are based on descriptions, and they represent what is true and observable. Moreover, the mental models we employ profoundly influence our expectations, the way we go about solving problems, and how we acquire new knowledge (Halford, 2014).

According to the Mental Models Theory, as developed by Johnson-Laird (1983, 2001), many different models may represent one single concept. In order to better understand the process of knowledge construction of our students, firstly it is important to diagnose their mental models and subsequently to analyse them. According to this theory, mental models help students to develop their capacity to explain and to predict phenomena (Palmero, Acosta & Moreira, 2001). Mental models compel students to evaluate and restructure their mental models, making them more coherent with both curricular models and scientific knowledge. By serving this purpose, mental models are promoting a meaningful learning (Palmero, 2008).

Despite the potential of Model-Based Learning, this methodology will only succeed when based on a specific knowledge and training and applied in an appropriate educational context. The role of teachers remains essential throughout the entire learning process (Libarkin & Brick, 2002), since they are the ones [actors] asked to develop strategies that will enable restructuring students' mental models (Moutinho & Vasconcelos, 2017).

To be a science teacher is not an easy task. Among many other requirements, it is necessary to have the ability to develop numerous relevant activities, such as: i) to evaluate students' prior knowledge, i.e., their outset mental models about the phenomena; this means that teachers "must be aware of the most frequent alternative conceptions developed by students on the topic under study" (Mendonça & Justi, 2011, p. 482); ii) to analyse if these mental models are scientifically consistent, and, if not so, to decide the best way to help students to restructure them; iii) to confront students with problematic situations that will lead them to question their mental models and, iv) to assess if their mental models have indeed changed and became more congruent with scientific models (Moutinho, Moura & Vasconcelos, 2014a).

As such, teachers have a very important role in the understanding of students' mental models and in helping to restructure them, so as to promote a meaningful learning and to develop scientific literacy. It is necessary that teachers understand how students construct their own mental models; that they recognize the nature of those models; that they know how to introduce them to students; and, primarily, that they have the ability to develop models that can be fit into classroom activities (Lin, 2014; Justi & Gilbert, 2002).

7.3.3. Research problem and aims

Using models as heuristic resources, and Model-Based Learning as a possible methodology, helps to promote the (re)construction of students' mental models, making them more congruent to curricular models. In the attempt to establish comparisons to reality, it is necessary to reflect on the phenomena under analysis, as well as on the materials that are to be used in its representation, and their behavioural characteristics. According to Harrison and Treagust (2000) models are simulations that should enrich scientific research, understanding and communication.

Having this in mind, this study intends to ascertain what type of models (computational model, physical model and mixed model) has a bigger influence in the restructuring of graduation students' mental models about the *seismic effects on soils and buildings*.

To address this problem, the following objectives were set, in relation to the above mentioned topic:

- (i) To diagnose the existing mental models of students attending the course of Geological Hazards, in a public university in northern Portugal, under guarantees of anonymity and confidentiality of data;
- (ii) To implement three different models, integrated in an intervention program (IP) using Model-Based Learning as the main methodology, and to assess the strengths and limitations of each of the models applied;
- (iii) To understand the importance and the potential of the three different types of models (computational model, physical model and mixed model) in restructuring students' mental models, as well as in the development of meaningful learning in graduation students.

7.3.4. Methodology

The study was developed using a methodological triangulation, combining the use of quantitative and qualitative methods simultaneously, during both data collection and data analysis. In this study, quantitative and qualitative data were collected simultaneously, without giving any greater significance to any of them.

Note that, today, a greater importance is given to methodological triangulation (since it allows the combination of the use of quantitative and qualitative methods), especially in social and educational research that involves variables (such as behaviours and attitudes) that cannot be captured by resorting to traditional methods used in exact sciences.

7.3.4.1. Study sample

A convenience sample was selected ($n=20$), comprising all graduate students attending the curricular unit of Geological Hazards, administered in a northern Portuguese public university. The selection of this sample is explained by the availability of those students to participate in the study. Nonetheless, the sample equal constituted the universe of study, since it included all the students present in the IP classes. These students constituted the target group, and all data collection instruments were applied to them.

The sample integrated 10 females and 10 males, with an average age of 21.6 years old, ranging from 20 to 24. The curricular unit gathered students from 2nd or 3rd academic year of the graduation in Geology, Biology and Landscape Architecture.

Students held some previous knowledge on this subject, since seismology issues are part of the Geology program in 10th and 11th grades, in Portuguese secondary school. Although some subjects were now discussed in more detail and depth, students were already familiarized with them, which facilitated the initial approach to the contents. However, it was necessary to diagnose students' prior knowledge (mental models), in order to ascertain whether or not their mental models were consistent with the scientific model that was going to be addressed.

7.3.4.2. Intervention Program

The IP that was developed included either the construction or the adaptation of three types of models: computational model, physical model, and a mixed model. All models had the purpose of simulating the seismic effects on soils and buildings.

The IP was applied during three consecutive lessons (that took place in non-consecutive days), each one lasting four hours. Thus, the IP totalled twelve hours. In each lesson, each one of the three types of models was presented and manipulated by students.

At the same time, several other resources were developed and used in the classroom, so as to guide students during the models' manipulation. For example, students looked at PowerPoint® presentations and documentation related to modelling. During the application of the IP, students' were given enough time to express their ideas and to discuss them with their classmates and the entire class.

Lessons were taught in Portuguese (by the first author of this study), under the guidance of the teacher responsible for the curricular unit. The author (a professionalized teacher) was present in all classes in an attempt to reduce the constraints of students. Finally, it was guaranteed anonymity and confidentiality to the participants, so as to ensure a more ease, confident and natural participation.

7.3.4.3. Instruments for data collection

To achieve the objectives of the study, the collection of data resorted to different instruments, which were specifically designed:

Pre and post-test (appendix 1) were prepared with the purpose of analysing the development of students' mental models regarding "seismic effects on soils and buildings" – objective iii).

They consisted of a questionnaire with 15 items, applied before (pre-test) and after (post-test) the application of the IP. Pre-test was also used to diagnose the existing mental models of students – objective i). Each item of the questionnaire had two tiers. The first tier had a sentence relating the seismic effects on soils and in buildings, and students were asked to classify each one as *True*, *False* or *Don't know*. The second tier had four sentences, attempting to justify the previous answer, and students were asked to choose the correct one.

The questionnaire was validated and the results of its validation are presented in the work of Moutinho, Moura & Vasconcelos (2016a).

A *Seismological Models' Evaluation Scale (SMES)* was used to analyse the opinion of students about each one of the models used in teaching “seismic effects on soils and buildings” – objective iii).

The scale was applied after the IP and the analysis took into account some important aspects of its features and applications (Moutinho, Moura & Vasconcelos, 2016b).

The scale included ten items that evaluated each one of the three models that were manipulated during classes. Each item was classified according to a five-point Likert scale, from 1- *Totally disagree* to 5 - *Totally agree*. The content validity of the scale was ensured by resorting to the literature and by applying it to two experts in geoscience education, who suggested some terminology changes and improvements to its final structure.

Cronbach Alpha showed a high internal consistency, which assured the fidelity of the scale (Moutinho, Moura & Vasconcelos, 2014b).

A *Questionnaire about Models and Modelling in Science (MMS)* (appendix 5) was designed so as to assess the opinion of students about the importance of models and modelling in science. It also allowed the analysis of students' knowledge on some aspects of the Nature of Science and the importance of the role of scientists – objective iii).

This instrument was a plain questionnaire constituted by 6 multiple-choice questions, each question having two answer possibilities (table 7.4.). In addition, each open question referred to one topic, and students were asked to justify the choice they had made.

The aim of this questionnaire was to understand the opinions of students regarding the methodology that was being applied and the use of models in general. MMS was adapted from a study previously conducted by Treagust and collaborators (2004), and which was validated for this particular study sample.

Three experts in science education analysed the relevance and objectivity of the questions, taking into account the study sample and the type of data collection. The research was thus validated.

Table 7.4. Questions and answers options of the questionnaire about *Models and Modelling in Science* (MMS)

Questions	Answer options
1. Models and modeling are important in the understanding of science. Models are:	<p>a) Representations of ideas on how the phenomena occur.</p> <p>b) Precise duplications of the reality.</p>
2. Scientific ideas can be explained by:	<p>a) Only one model - each phenomenon can only be explained by a single model.</p> <p>b) A model - but there may be other models to explain the same ideas.</p>
3. When scientists use models and modeling in science to investigate a phenomenon, they can:	<p>a) Use only a model to explain scientific phenomena.</p> <p>b) Using several models to explain scientific phenomena.</p>
4. When a model is proposed to support a new scientific theory, scientists must decide whether to accept or not. Their decision is:	<p>a) Based on the facts those support the model and theory.</p> <p>b) Influenced by their feelings or personal reasons.</p>
5. The acceptance of a new scientific model:	<p>a) Requires support of the majority of scientists.</p> <p>b) Occurs when it can be successfully used to explain results.</p>
6. The scientific models are constructed for a long period of time by many scientists working in an attempt to realize the scientific phenomena. Thanks to this, scientific models:	<p>a) Cannot be changed in future years.</p> <p>b) May be changed in future years.</p>

Note: Each answer should be justified.

Finally, interviews were carried out with the participants whose pre and post-test results needed clarification because they were confusing or vague – objective iii). For the accomplishment of the interviews, a script was developed with questions related with the aspects that it was intended to clarify. However, these interviews were semi-structured, since during the interviews other issues were raised, whenever considered relevant. In this case, the data were collected through audio record and properly transcribed, in order to facilitate the subsequent data analysis.

Validity refers to the extent to which a measure adequately represents the underlying construct that it is supposed to measure. Reliability is the degree to which the measure of a construct is consistent (Bhattacharjee, 2012, pp. 56-58).

The determination of the validity and reliability of the instruments used to collect data gave more confidence to the study, even though a small sample was being used.

7.3.5. Results and discussion

The methodological approach (methodological triangulation) led to the collection of different types of data – quantitative data (through the pre and post-test and the SMES), and qualitative data (through the MMS questionnaire and the audio records interviews). Data collection followed different purposes, concerning the objectives of the study, and aimed a more accurate and deep analysis.

Accordingly, the analysis and discussion of data is organized in three different subsections:

- Development of students' Mental Models;
- Assessment of the typologies of models;
- The importance of Models and Modelling in Science.

For each one of these subsections, which contribute to the achievement of the objective iii), the data were collected through different instrument, described previously in methodology section: pre-test, post-test and the semis-structured interviews for the analysis of the development of students' Mental models; SMES scale, for the assessment of the typologies of models; and MMS questionnaire to analyse the importance of Models and Modelling in Science.

7.3.5.1. Development of students' Mental Models

A pre and post-test were applied in order to analyse the development of students' mental models. Answers were examined by applying different quantitative and qualitative methods.

First of all, a descriptive analysis was undertaken in order to determine if there was an improvement of students' knowledge — in other words, to determine if the process of restructuring student's mental models had succeeded.

All answers were classified into a scale of four values. The frequencies of the answers are presented in table 7.5.

Table 7.5. Classification of students' answers in Pre and Post-test (n=20)

	Correct		Incorrect						Don't know	
	4		3		2		1		0	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
PQ1	8	3	9	15	1	0	0	0	2	2
PQ2	14	16	1	0	1	3	3	1	1	0
PQ3	4	15	4	3	1	0	0	0	11	2
PQ4	3	4	3	3	9	8	3	4	2	1
PQ5	4	12	3	2	1	1	0	0	12	5
PQ6	9	9	1	8	9	3	1	0	0	0
PQ7	6	18	1	0	10	1	0	0	3	1
PQ8	10	9	3	7	5	3	2	1	0	0
PQ9	1	11	3	3	4	0	4	2	8	4
PQ10	13	19	1	1	0	0	0	0	6	0
PQ11	17	16	1	2	2	2	0	0	0	0
PQ12	20	19	0	1	0	0	0	0	0	0
PQ13	13	17	2	3	4	0	0	0	1	0
PQ14	7	9	1	6	2	1	3	4	7	0
PQ15	11	14	4	5	0	0	0	0	5	1

Note: Pre and Post-test values correspond of frequency (f). 4 – both tiers correct; 3 – first tier correct, second tier incorrect; 2 – both tiers incorrect; 1 - first tier incorrect, second tier correct (contradiction).

According to the analysis of table 7.5., students improved their outcomes in almost all questions. The number of students who obtained the classification 4 in post-test is higher than in pre-test.

On most issues, when comparing answers to pre and post-test, there was an increase in the number of students who answered correctly; for example: PQ2, PQ3, PQ4, PQ5, PQ7, PQ9, PQ10, PQ13, PQ14 and PQ15. However, there also are questions in which the number of students who answered correctly decreased, for example: PQ1, PQ8, PQ11 and PQ12. Only in PQ1 were the results high (Pre-test = 8; Post-test = 3). In the case of question 1 it appears that most of the answers were rated 3, confirming a high increase from the pre-test to post-test (Pre = 9; Post = 15). This means that some of the students who answered correctly in pre-test, failed to properly justify their answer in the post-test (second part of the question).

Furthermore, the number of students who answered incorrectly decreased from pre-test to post-test in almost all questions. The number of students who answered *Don't know* in pre-test also decreased in post-test. Moreover, through the analysis of table 7.5. it is possible to ascertain that, for the majority of the questions, the students' answers in post-test are centred in ratings 3 or 4. This means that the majority of students correctly classified the first tier of each question of the test, although in some situations they did not answer properly to the second tier. However, these data also show the development of mental models of students.

Building up on this analysis, the profile of the answers given to the pre and post tests was graphically drawn, so as to compare them more easily. As such, a profile-based comparative analysis was used, following the works of Moutinho and collaborators (2016a) to analyse similar type of data. This analysis consists in a multivariate statistical method, from which quantitative results are obtained based in the evaluation of the students' profiles (Serafini, 1988), and it observes the averages of the answers given to each of the items. Each evaluation refers to an existing relationship between the expected and the attained results, based on the distance/proximity between profiles. According to this coefficient, higher distances mean that the profiles are far from the ideal.

Configurational similarity coefficient (appendix 1) is a complementary coefficient that measures the grade of correspondence of the high and low values between different profiles in each dimension (Cernuzzi & Zambonelli, 2008). In both coefficients, values range from 0 to 1, and if the coefficient range is from 0.90 to 1.00, the congruency is virtually perfect (1 being the perfect match in the evaluation of profiles); when the values of coefficient range between 0.70 and 0.89, there is a high congruency; a range between

0.40 and 0.69 indicates a moderate congruency; a range between 0.20 and 0.39 means that there is a low congruency, and if the coefficient ranges between 0.00 and 0.19, the congruency is virtually non-existent (Cernuzzi & Zambonelli, 2008; Serafini, 1981).

In this study, each profile question was analysed by comparing the simple congruency coefficient of the profile from pre-test and post-test with the congruency coefficient of the ideal profile. The ideal profile had a value that corresponded to a score of 4.

Figure 7.1. shows the ideal profile and its comparison with profiles from pre and post-test. Profiles result from the averages of the answers of pre and post-test, for all the 15 questions that constitute the profiles. The simple congruency coefficient for pre-test (C_{pre}) was $C_{pre} = 0.50$ and for post-test (C_{post}) was $C_{post} = 0.70$.

According to the data, pre-test results demonstrated a moderate congruency with the ideal profile, but the post-test results showed a high congruency. These results led us to ascertain that the results of post-test were better than those of pre-test, as the result of congruency coefficient with the ideal profile was higher in post-test.

The configurational similarity coefficient (CS) obtained was $CS = 0.56$, which meant that there was a moderate similarity in some of the high and low points of the two groups that answered the tests.

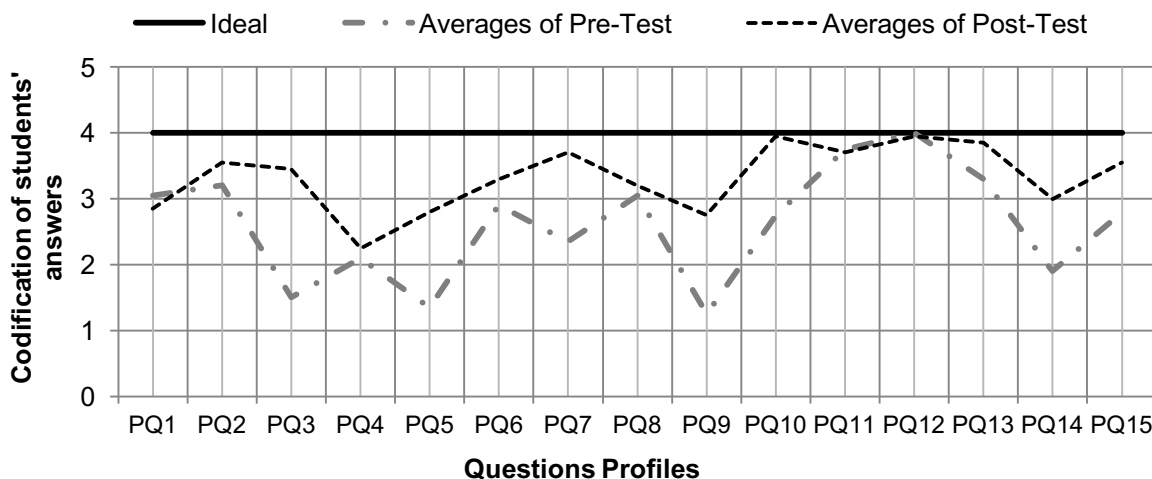


Figure 7.1. Comparison between the ideal profile and the profiles of Pre and Post-Test (n=20)

By observing figure 7.1. we can see that, in general, the profile of post-test questions is closer to the ideal profile than the profile of pre-test questions. However, there are situations in which the opposite occurs, such as in question 1 (PQ1), in which pre-test results are closer to the ideal profile. Additionally, a few situations are unclear. In order to clarify these dubious results, some interviews were conducted.

Amid the sample of 20 students, interviews were conducted to the following:

- i) Students who correctly answered question 1 in pre-test but, although correctly classifying the statement in question 1 in post-test, did not know how to justify it (classification 3) – students S3, S5, S6, S10, S17 and S19;
- ii) One student who achieved better results in pre-test than in post-test (student S20), thus suggesting that no change had been produced in his mental model;
- iii) One student whose results showed significant improvement between pre-test and post-test (student S2);
- iv) One student who improved his results, and yet it remained unclear whether there had been a development of his mental model.

The interviews were recorded and later on transcribed so as to ensure objectivity and facilitate data analysis. One of the objectives of these interviews was to understand whether or not changes in answers were due to contents addressed during the IP's lessons, and if so, whether or not the use of some type of models had had any influence.

Having this in mind, the students were asked the following questions: i) Did the contents addressed in classes influence any change in your answer? Which contents?; ii) Did any of the models used in class allow you to better understand the question and guided you to change your answer?; iii) In your opinion, which one of the three models is the best to teach contents related to the seismic effects on soils and buildings? Why?

In relation to the first question, all students felt that the contents taught in classes led them to change their answers, and the majority (f=3) stated that the contents related to the characteristics of seismic waves guided them into changing their answers. Other students also referred to other contents that they considered relevant to help them revise their answers. These other contents included: the behaviour of buildings during an earthquake (f=1), contents related to seismology, as taught during classes (f=2), the liquefaction effect (f=2) and the effects of earthquakes and their possible damage to buildings (f=1).

The students' opinions were different as to which model had better helped them to revise their answers. Some students (f=3) felt that the computational model had helped them to understand the question better because of its practicality, simplicity and objectiveness.

If we have any question, we can answer it straightaway, and I think it is quite practical. (S2)

It is easy to see the movement and the behaviour [of buildings]. (S5)

It led us to better understand the effects that an earthquake could cause in buildings. (S3)

Two students (f=2) considered the physical model to be better because it allowed them to *simulate what happens in an earthquake in a direct and entertaining way* (S10); another student (f=1) also mentioned that the physical model helped students to test variables.

To be able to test several differences, such as more or less intensity, with taller buildings, with marbles, with sand, water, makes it easier to understand... (S20)

However, there was one student who felt that no model had helped him to better understand the question, since *they only allowed me to understand how to minimize the risks and damage to buildings* (S17).

These answers were relevant to the understanding of the students' views on the three models used to teach contents related to the seismic effects on soils and buildings. The results also showed that: i) Two students considered the physical model to be the best to teach these subjects (although they had previously designated the computational model as the best one – question 2), and gave similar justifications for their choice – *the model is practical, simple and objective*; ii) The majority of students (f=5) stated that the best model was the physical model because it is objective, easy to observe, and its results are easy to analyse:

Because it helps us to understand how the height of buildings, their structural reinforcement, or the type of soil influence how buildings behave during an earthquake. (S3)

It was easy to understand and it allowed us to change many variables related to the soil and buildings... (S5)

Nonetheless, since these justifications were also used to designate the mixed model as the best model to promote meaningful learning, it was not possible to ascertain the students' preference for the physical model; iii) Only one student unequivocally claimed that *the mixed model is better to understand what happens when an earthquake occurs, because the junction between the table and the simulator makes a better and a perfect understanding of earthquakes* (S19)

The interviews also meant to clarify the reason for discrepancies in the results of pre and post-test, increase or decrease in classifications (S2 and S20), or even confused and inconclusive answers (S16). Those three students under these circumstances were asked to answer four more questions:

- i) Which model helps more the development of scientific reasoning?

- ii) What is the best model for assisting the elaboration of scientific processes?
- iii) What is the best model for understanding the characteristics of Nature of Science?
- iv) What are the advantages and disadvantages of each of these types of model?

When asked about which is the best model to help the development of scientific reasoning, two students elected the physical model, because *it is more instructive* (S2). *It really helps us to understand what we are trying to explain.* (S20). Only S16 considered the mixed model to be better because *we could see scientific data as we performed the experience.*

Regarding the elaboration of scientific processes, all three students considered the mixed model to be the best, because it allowed them to observe the phenomena in “real time”.

It led us to understand better since, through the seismograph, we can observe when there are changes... (S2)

We moved the seismic table and we were able to see (maybe) the seismograph at work in real time. (S16)

Regarding the understanding of the characteristics of the Nature of Science, two students felt that the physical model allowed them *to make more changes as they occur in nature, and add more variables to be studied* (S2).

S20 stated that the mixed model allowed students *to make many variations, using many materials, different intensities... In this model we can always introduce change: Oh, let's experiment with this, we will experiment with that soil, we will experiment with that stuff with wood (...).*

Concerning the advantages and disadvantages of the three types of models, the main aspects that were pointed out are as follows:

- (i) The computational model is more practical to use in everyday classes, because students *don't need to mess up the class, and we could use it comfortably at home, without having to go to the field.* (S20) However, this model is also the most limited, because *we cannot add others variables to test, it must be used as stipulated.* (S2, S20);
- (ii) The physical model is the one closer to reality, it allows students to manipulate several variables, and it is also the most attractive model.

Very close to reality, we can imagine much better what happens... (S2)

We can define which variables to study, and we can create different type of variables. (S16)

It is more attractive to teach and to explain to students. (S20)

Despite the aforementioned advantages, students also felt that this model is difficult to carry and to operate because it is big and too sensitive.

It was not very easy to transport. (S2)

It was difficult to control the intensity [of the mechanical motor]. (S16)

Finally, students considered that the mixed model was instructive, realistic and gave students more leeway.

We can see [the phenomenon] happening in real time. (S16)

The use of a seismograph helps us, because it allows us to better understand and to manipulate and to simulate what we want it to do. (S20)

But students also claimed that this model is too sensitive and difficult to operate.

It is very sensitive and the slightest touch can change the register. (S20)

Following the pre and post-test data analysis, we could verify that students recognized many advantages in the use of models in class, and they understood that the major purpose was to teach contents related to the seismic effects on soils and buildings.

However, we needed to deeply analyse data so as to understand if the differences registered in students' pre and post-test results were indeed significant under the context of this study. For this purpose, we began with a simple statistical analysis of the average ratings and standard deviations in both tests. Data were analysed through the 23rd version of a statistical program SPSS. The results are presented in table 7.6.

Table 7.6. Students' results in Pre and Post-Test. (n=20)

	Average	Standard Deviation	Minimum	Maximum
Pre-Test*	32.8	8.24	17	41
Post-Test*	49.9	5.55	41	58

* Pre and post-tests' maximum score (15 items): 60 points

According to the data presented in table 7.6., the average of results in post-test (49.9) is higher than in pre-test (32.8). The minimum and maximum values obtained in the questionnaire are also higher in post-test (min = 41; max = 58) than in pre-test (min

= 17; max = 41). All these results allow us to confirm an increase in students' scientific knowledge on the seismic effects on soils and buildings.

Considering this information, it was deemed relevant to perform a deeper analysis so as to determine if the results were significant. The Wilcoxon Test was used.

Wilcoxon Test is a non-parametric test used to compare two paired samples when the study sample is small and does not show a normal distribution. The application of this statistical test demands for the definition of a hypothesis, as follows:

H0: The average of students' results in post-test is equal to the average of the students' results in pre-test.

HA: The average of students' results in post-test is higher than the average of students' results in pre-test.

In this case, a unilateral test was used since the data signalled what was the trend of this difference – an increase in the students' results.

The results of the Wilcoxon test rejected H0 for a confidence level of 99% ($Z = -3.921$; $p = 0.000$), thus indicating that post-test data showed a significant increase in students' results. This meant that indeed students developed their knowledge and improved their mental models on seismic effects on soils.

7.3.5.2. Assessment of the typologies of Models

Through the results collected with SMES (the students' opinion about the three types of models – table 7.7.) it was possible to assess which was the model that better promoted meaningful learning.

Table 7.7. Statistical information about computational, physical and mixed model (n=20)

	Computational model	Physical model	Mixed model
Average	36.2	33.9	36.4
Standard Deviation	6.70	5.15	5.92
Minimum	21	24	26
Maximum	48	45	50

As already stated, since the study sample was small and did not follow a normal distribution it was decided to use the same nonparametric test used in the analysis of the pre and post-test results – the Wilcoxon test. Three hypotheses were defined (HA, HB and HC):

H0: The average of the importance of the computational model in the learning process is equal to the average of importance attributed to the physical model in the learning process.

HA: The average of the computational model importance in the learning process is different from the average of importance attributed to the physical model in the learning process.

H0: The average of the importance attributed to the computational model in the learning process is equal to the average of the importance attributed to the mixed model in the learning process.

HB: The average of the importance attributed to the computational model in the learning process is different from the average of the importance attributed to the mixed model in the learning process.

H0: The average of the importance attributed to the physical model in the learning process is equal to the average of the importance attributed to the mixed model in the learning process.

HC: The average of the importance attributed to the physical model in the learning process is different to the average of the importance attributed to the mixed model in the learning process.

According to these hypotheses, the Wilcoxon nonparametric test for paired samples was applied. In this case bilateral tests were used since data would only indicate whether the hypotheses were or not different.

Table 7.8. Results of Wilcoxon test for the three tested hypotheses (n=20)

	HA Computational – Physical	HB Computational – Mixed	HC Physical – Mixed
Z	-1.674	-0.379	-2.094
Significance (bilateral)	0.097	0.723	0.035

The results presented in table 7.8. led to the acceptance of HC at a confidence level of 95% ($Z = -2.094$; $p < 0.05$). As such, only the difference between the physical model and the mixed model was qualified as significant. It was not found any significant improvement in learning when the other two types of intervention were used. Thus, mixed models are considered to be the best type of model for promoting the construction of knowledge, which includes restructuring mental models and making them more congruent with curricular models (Moutinho & Vasconcelos, 2017).

7.3.5.3. The importance of Models and Modelling in Science

Students also answered a questionnaire regarding Models and Modelling in Science, which integrated six multiple-choice questions. Students were asked to explain each of the answers.

Following data collection and analysis, results were divided into two sections: one relating to the views of students on the characteristics of different models, and another referring to the process of scientists acknowledging models (Moutinho, Moura & Vasconcelos, 2014a).

Characteristics of models

Questions 1, 2 and 6 (table 7.4.) addressed the conceptions of students on models and modelling in science. Results showed that all students perceived models as representations of ideas on how phenomena occur, and the majority related this characteristic to the unpredictability of natural phenomena. Some participants also stated that although models are not completely faithful to reality, they still contribute to a better understanding of natural phenomena (question 1).

It is impossible to make a model that fully corresponds to reality since natural phenomena are always associated to unpredictability and/or variables that cannot be tested. (S1)

Models are representations that help to understand how [the phenomenon] is manifested in real life. (S4)

As for explaining scientific ideas (question 2), all students considered that the use of a model could be helpful, but other resources could also be used. The majority of students recognized that there existed several models directed to the explanation of the same phenomenon.

Different models lead to the same conclusions, as we have seen in class. (S6)

The earthquake simulator and the seismic table, for example. (S12)

There are many variables and different models to represent them all. (S16)

Finally, the majority of students believed that models were liable to change in the coming years (question 6) since science is constantly evolving.

With the evolution of knowledge about the phenomenon, models will evolve as well, and will eventually change. (S18)

Models can always be changed, because science is always evolving. (S14)

The role of scientists in the validation and acceptance of models

The conceptions of students on the role of scientists in the validation and acknowledgement of models were analysed through questions 3, 4 and 5 (table 7.4.).

The majority of students recognized that models could be used to explain many scientific phenomena, and that different models could be used to explain the same phenomenon (question 3).

We can use several models to explain the same idea, and this idea can be framed in various situations. (S13)

If they succeed to represent the same phenomenon in various models, they can do it. (S18)

Only one student stated that scientists resort to only one model so as to explain phenomena, since that one model helps studying that phenomenon.

(...) A model may allow us to study the various phenomena involved. (S9)

In relation to the criteria used by scientists to accept (or not) a given model, students stated that decision should be based on evidence that backed both the model and the theory (question 4). As such, the majority of students underlined the need for scientists to base their decisions on observations that corroborate the theory.

Their decision is based on observations that prove the theory. (S3)

(...) Facts prove theories, even if our beliefs do not agree. (S9)

You must check whether the model fits the study/new theory. (S20)

Finally, students voiced different opinions when asked about the process of accepting a new model (question 5). The majority of students (12 of 20) considered that the acceptance of a scientific model requires support from the vast majority of scientists. If a consensus could not be reached, the model should not be accepted.

If only one scientist concurs then the majority does not accept the theory as correct. (S2)

If no one agrees with a given scientific model, it will not be accepted. (eg: Galileo). (S6)

Finally, students revealed consistent views regarding the importance of models and modelling in science. These concepts had already been indirectly addressed during the IP lessons, as it is demonstrated by some of the answers that resorted to examples used in class. Overall, results showed that Model-Based Learning Methodology contributed to the construction of more realistic views on this topic.

7.3.6. Conclusions

At this point, an appraisal of the conclusions of this study comes in order, bearing in mind each of the objectives outlined at the beginning of this article.

(i) Prior to the application of the IP, a pre-test was used to ascertain the mental models held by those students that integrated the study sample. As it was observed, we can't say that their mental models regarding seismic effects on soils and buildings were inconsistent with the scientific model, and this may be related to previous concepts acquired during high school. Answers to pre-test made it possible to list those concepts in which inconsistencies were perceived, so as to guide an intervention that would promote the restructuring of mental models.

(ii) The second goal of the study was to develop and to apply an IP through a Model-Based Learning Methodology. This included the application and the use of three types of models (a computational model, a physical model and a mixed model), and the assessment of their strengths and limitations. All models were developed and adapted to the study sample, and all of them were applied during the IP classes. Throughout the IP students actively participated in the activities, they arose questions and debated the contents that were taught. The analysis of the interviews led to the conclusion that the IP succeeded, since students positively referred to both the classes and the models.

According to Mendonça and Justi (2011), and as corroborated by this study, the application of Model-Based Learning is important to support the process of students' knowledge construction, including the seismic effects on soils and buildings. The authors consider it fundamental to further analyse the impacts/benefits of this methodology when applied to students of other age groups. This effort will make it possible to understand how different groups of students react to the application of Model-Based Learning, and which adjustments should be made so as to enhance its advantages in different contexts.

At this point, we can list the advantages and limitations of models according to the opinions of students, but also according to the visions of the researchers. First of all, students recognized some advantages linked to the use of models, for instance: computational models are practical, objective, simple, and easy to manipulate. They are practical since processes can be repeated over and over again, in only a few minutes and in any place, including at home. Nonetheless, students felt that computational

models are also limited since they do not allow the manipulation of all variables that need to be studied, since the software is programmed for a specific purpose.

Researchers point out some other limitations, such as the fact that these types of models are only available in the English language, making it difficult for non-native students to use them. Moreover, since the majority of these models are available in the Internet, the access to these models requires a Wi-Fi connection that is not available to all.

Students consider that physical models brought them closer to reality, since they could observe the simulation in real time, they could select which variables to test, and they could even change these variables during manipulation. All these aspects make this model more visual and more attractive to students. Nonetheless, students pointed out limitations such as its size, weight and manipulation difficulties (the mechanical engine was too sensitive and required soft movements or else it wouldn't work correctly).

The authors consider that this type of model is indeed more interesting than the computational model, and it is more capable of motivating students during class. Furthermore, it gives more freedom to the teacher, since he may decide which variables to explore, or even delegate that decision to students. But this advantage is equally a limitation since this model requires that teachers hold a consistent knowledge of both the model and all its characteristics and applications. According to Model-Based Learning, students should also think about the model they will need to develop and how to build it. This study did not address these difficulties since it was not possible to build a wooden model and the mechanic motor during classes, which lasted for four hours. This is probably the biggest limitation of this type of model – building the model. Considering that the length of the majority of science classes in Portugal, including secondary school, is approximately of (and at the most) two hours, a rather limited time, it is very difficult for students to reflect upon, plan and build the model. Moreover, to build a model that has been carefully thought, or even to develop other resources, requires the involvement of teachers, who also have quite restrictive timetables.

Finally, students found the advantages and limitations of the mixed model to be very similar to those of physical models, a point of view with which the authors agree. But the mixed model is also the clearest of all, and it is the only one that allows simulation and observation simultaneously – the simulation of the phenomenon and the registration of seismic waves. This is very important since mixed models have allowed students to observe the occurrence of the entire phenomenon, including the reception of the signal in a seismograph, in a way similar to what happens in Nature.

Categorizing models is relevant since it helps to organize them according to their characteristics and purposes, but especially because it helps students to understand that many different models can represent the same given phenomenon. Moreover, by helping to perceive the importance of models, model categories also help students to construct robust and coherent mental models about the phenomenon (Boulter and Buckley, 2000). This study showed that the application of different types of models to teach a scientific subject helps students to recognize the potential and limitations of models, as well as to better understand the phenomenon, since they can explore it through different approaches. Bearing this in mind, we believe that the use of different types of models, or the use of models that include many components, such as mixed models, can promote meaningful learning.

(iii) Finally, one major purpose of the study was to understand the potential of different types of models in the process of restructuring mental models and developing meaningful learning in graduation students, with special focus given to computational, physical and mixed models. Data analysis of both pre and post-test showed that students improved their results, indicating that they developed knowledge on the subject. In addition, with the help of the Wilcoxon test, the hypothesis that the average of results in post-test was equal to the average of the results in pre-test was rejected, at a high confidence level, thus proving the results to be significant.

Moreover, the results obtained through the analysis of SMES showed that mixed models are the best at promoting the construction of students' knowledge (including restructuring their mental models), and developing meaningful learning. These results were expected from the very beginning. Considering all the characteristics of computational models and physical models, the development of a model that integrated the characteristics of both was perceived as relevant. This mixed model minimized the limitations of both models and improved the process of knowledge construction.

The limitations of this study are also worth noting. Firstly, access to students' mental models was only indirectly possible, through what students expressed. Accordingly, there is no way to ensure that students' answers were not influenced by external factors. Nonetheless, in order to minimize this limitation, different data collection instruments were applied and different activities were undertaken during the intervention program, helping us to confirm that the models voiced by students indeed corresponded to their mental models.

Another limitation of this study relates to the difficulty in planning lessons according to this methodology. The implementation of Model-Based Learning requires time for activities and discussion with students. Both are essential to this methodology and both require much time in class. This was taken into account during the preparation of the IP. It is important to reflect on this issue, since it pertains to difficulties that teachers face in their daily routine at school/college, and which can discourage the implementation of this methodology.

Acknowledgements

The authors acknowledge the funding provided by the Institute of Earth Sciences (ICT), under contract with FCT (Portuguese Science and Technology Foundation).

7.3.7. References

- Bhattacharjee, A. (2012). *Social Science Research: Principles, Methods, and Practices*, University of South Florida: Scholar Commons.
- Boulter, C. J. & Buckley, B. C. (2000). Constructing a typology of models for science education, In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.). *Developing Models in Science Education* (pp. 41-58), London: Kluwer Academic Publishers.
- Cernuzzi, L. & Zambonelli, F. (2008). Profile based comparative analysis for AOSE methodologies evaluation. In R. L. Wainwright & H. M. Haddad (Eds.), *Proceedings of the 2008 ACM symposium on applied computing* (pp. 60–65), New York: ACM.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041–1053. doi: 10.1080/095006900416901
- Duschal, R. A., Schweingruber, H. A. & Shouse, A. W. (2000). *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8*, Washington DC: National Academies Press.

- Gilbert, S. W. & Ireton, S. W. (2003). *Understanding Models in Earth and Space Science*, Virginia: National Science Teachers Association.
- Gobert, J. D., O'Dwyer, L., Horwitz, P., Buckley, B. C., Tal Levy, S. & Wilensky, U. (2011). Examining the Relationship Between Students' Understanding of the Nature of Models and Conceptual Learning in Biology, Physics, and Chemistry, *International Journal of Science Education*, 33(5), 653-684. doi: 10.1080/09500691003720671
- Greca, I. M. & Moreira, M. A. (1997). The kinds of mental representations – Models, propositions and images – Used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, 19(6), 711–724. doi: 10.1080/0950069970190607
- Halford, G. S. (2014). *Childrens' Understanding: The development of Mental Models*, New York: Psychology Press.
- Halloun, I. A. (2007). Mediated Modeling in Science Education. *Science & Education*, 16, 653–697. doi: 10.1007/s11191-006-9004-3
- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026. doi: 10.1080/095006900416884
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Inference and mental models. Mental models. Towards a cognitive science of language, inference and consciousness*(pp.126–146). Cambridge: Harvard University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (2001). Mental Models and deduction. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(10), 434–442.
- Justi, R. & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387. Doi: 10.1080/09500690110110142
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- Libarkin, J. C. & Brick, C. (2002). Research Methodologies in Science Education: Visualization and the Geosciences, *Journal of Geoscience Education*, 50(4), 449-455. doi: 10.5408/1089-9995-50.4.449
- Lin, J. W. (2014). Elementary school teachers' knowledge of model functions and modelling processes: A comparison of science and non-science majors.

International Journal of Science and Mathematics Education, 12(5), 1197-1220.
doi: 10.1007/s10763-013-9446-4

- Mendonça, P. C. C. & Justi, R. (2011). Contributions of the Model of Modelling Diagram to the Learning of Ionic Bonding: Analysis of a Case Study. *Research In Science Education*, 41, 479–503. doi: 10.1007/s11165-010-9176-3
- Moreira, M. A., Greca, I. M. & Rodriguez, P. M. L. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza/aprendizaje de las Ciencias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2(3), 37-57.
- Moutinho, S., Moura, R. & Vasconcelos, C. (2014a). O efeito dos sismos em solos e edifícios: Aplicação de um programa de intervenção dirigido a estudantes de licenciatura recorrendo à Modelação. *Revista Montagem Moura Larceda*, 16(16), 117-132.
- Moutinho, S., Moura, R. & Vasconcelos, C. (2014b). Modelação em Geociências nos Dias Abertos às Escolas. *Comunicações Geológicas*, 101, Especial III, 1325-1328.
- Moutinho, S., Moura, R. & Vasconcelos, C. (2016a). Mental Models about Seismic effects: Students' profile based comparative analysis. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14(3), 391-415. doi:10.1007/s10763-014-9572-7
- Moutinho, S., Moura, R. & Vasconcelos, C. (2016b). Simulating an earthquake and its effects on soils and buildings: A practical activity to disseminate geosciences and its evaluation. In Vasconcelos, C. (ed.). *Geoscience Education: Indoor and Outdoor* (pp. 43-55). Netherlands: Springer. doi:10.1007/978-3-319-43319-6_3
- Moutinho, S., Torres, J., Almeida, A. & Vasconcelos, C. (2013). Portuguese teachers' views about geosciences models. *La investigación en didáctica de las ciencias. Un compromiso con la sociedad del conocimiento, IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*, 2430–2435.
- Moutinho, S. & Vasconcelos, C. (2017). Model-Based Learning applied to natural hazards. *Journal of Science Education*, 18(2).
- Oh, P. S. & Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130. doi: 10.1080/09500693.2010.502191

- Palmero, M. L. R. (2008). La Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird. In Palmero, M. L. R. *et al.* (Eds.) *La Teoría del Aprendizaje Significativo en la perspectiva de la Psicología Cognitiva* (pp. 46 – 87). Barcelona: Editorial Octaedro.
- Palmero, M. L. R., Acosta, J. M. & Moreira, M. A. (2001). La Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird y sus principios: una aplicación con Modelos Mentales de célula en estudiantes del curso de orientación universitaria, *Investigação em Ensino de Ciências*, 6(3), 243-268.
- Pirnay-Dummer, P., Ifenthaler, D. & Seel, N. M. (2012). Designing Model-Based Learning Enviroments to support Mental Models for Learning, In D. Jonassen & S. Land (Eds.). *Theoretical Foundations of Learning Environments*, 2nd Edition, New York: Routledge.
- Rodhe, A. (2012). Physical models for classroom teaching in hydrology. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 3075–3082. doi: 10.5194/hess-16-3075-2012
- Sato, M., Bartimoro, M., & Elko, S. (2016). Investigating your school's science teaching and learning culture. *Kappan Magazine*, 97(6), 42-47. doi: 10.1177/0031721716636872
- Serafini, O. (1981). Indicadores Cuantitativos de la Distancia Evaluativa: Coeficientes y Congruencia Simple (C) y Ponderada (Cp). Brazil: Brasilia.
- Serafini, O. (1988). Análisis de Perfiles en Ciencias de la Educación: Coeficientes ES1 y ES2 de Similitud Configuracional entre Perfiles Cuantitativos. *Revista Paraguaya de Sociología*, 72, 193–200.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. D., & Mamiala, T. L. (2004). Students' Understanding of the Descriptive and Predictive Nature of Teaching Models in Organic Chemistry. *Research in Science Education*, 34, 1-20. doi: 10.1023/B:RISE.0000020885.41497.ed
- Vasconcelos, C., Moura, R., Torres, J., Moutinho, S., & Lima, A. (2015). Replica of a shaking table from the XIX century: a workshop applied to higher education students, *SGEM2015 Conference Proceedings*, 5(3), 1045-105.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1.

Conclusões gerais do estudo

Depois de decorrida toda a investigação, de recolhidos, analisados e discutidos todos os dados, importa agora refletir sobre o desenvolvimento deste estudo e as conclusões obtidas.

Pela análise dos resultados que foram apresentados e discutidos no capítulo 7, corrobora-se a importância da modelação, incluindo o uso de modelos no processo de construção do conhecimento. Esta premissa é também reivindicada por autores como Justi e Gilbert (2002a), Louca, Zacharia e Constantinou (2011), Louca e Zacharia (2012), nos seus trabalhos.

No entanto, para determinar quais são os fatores que têm um contributo mais decisivo no auxílio da aprendizagem dos estudantes, neste caso do ensino superior, devemos centrar-nos, nomeadamente, em aspetos metodológicos como, por exemplo:

- todas as três aulas, que constituíram o programa de intervenção (PI), terem sido ministradas pelo mesmo professor, a fim de minimizar o desconforto dos estudantes e promover a sua integração com a turma, durante as aulas;
- todos os temas e conteúdos lecionados terem sido adequadamente adaptados ao programa da unidade curricular, e alinhados em atividades que potenciavam o questionamento, por parte dos estudantes, e os ajudavam durante o processo de reestruturação dos seus modelos mentais, por intermédio da modelação.

Como forma de garantir a eficiência da metodologia, sabia-se que era importante analisar os modelos mentais dos estudantes relativamente ao “efeito dos sismos em solos e edifícios”, antes do desenvolvimento e aplicação do PI, pois só assim se poderia adaptar todos os recursos e materiais educativos às características e necessidades dos elementos da nossa amostra, tal como é defendido por Justi e Gilbert (2002b):

As atividades de modelação também podem proporcionar oportunidades especialmente valiosas para que os professores monitorizem o progresso de mudança dos modelos mentais iniciais dos alunos para a compreensão de modelos científicos (...) A fim de ajudar

os seus alunos na aprendizagem da ciência, defendemos que os professores devem: (...)

– Possuir a capacidade de desenvolver bons modelos de ensino – aqueles que são criados com o propósito específico de facilitar a compreensão dos estudantes de modelos científicos (...)

– Compreender como os alunos constroem os seus próprios modelos mentais e como os modelos expressos resultantes devem ser tratados nas aulas. (p. 1274)

Antes de refletirmos sobre as estratégias a seguir para promover a reestruturação dos modelos mentais dos estudantes, foi também pertinente perceber se essa reestruturação era necessária, isto é, se os seus modelos mentais eram, de facto, cientificamente incongruentes. Todos estes indicadores tiveram elevada importância em todo o processo, pois permitiram reunir um conjunto de informações suficientemente consistentes, para auxiliarem o desenvolvimento de atividades e materiais adequados ao propósito do estudo.

Todas as atividades e exercícios que os estudantes realizaram durante as aulas foram desenvolvidos para promover o diálogo e a discussão entre eles, contribuindo para que, durante a discussão expressassem os seus próprios modelos mentais sobre o fenómeno. Em suma, podemos considerar que o PI foi desenvolvido com o propósito de potenciar a reestruturação dos modelos mentais dos estudantes, desencadeando uma aprendizagem significativa.

No capítulo 1 – Introdução geral, foram enunciados os principais objetivos deste estudo. De igual forma, ao longo dos restantes capítulos foram apresentados os materiais e os procedimentos que possibilitaram a recolha e a análise dos dados, permitindo perceber se cada um dos objetivos foi atingido, ou não. Assim sendo, restam apenas refletir sobre as conclusões deste estudo, tendo como ponto de partida cada um dos objetivos enunciados.

(i) A lecionação de temáticas relacionadas com os Riscos Naturais é frequente em várias instituições de ensino superior público, embora o recurso à modelação como metodologia de ensino potenciadora da aprendizagem não seja uma prática comum. Foram analisadas as fichas de todas as unidades curriculares de cursos de licenciatura que contemplavam temas/conteúdos relacionados com o “efeito dos sismos em solos e

edifícios”, para recolha de indicadores relativos ao tipo de metodologia aplicada, e nenhuma delas fazia referência à modelação ou ao uso de modelos.

Estes resultados revelaram-se importantes na medida em que permitiram compreender a necessidade de implementar metodologias diferentes, neste caso a modelação, para averiguar qual o seu impacto na aprendizagem dos estudantes. Esta necessidade prende-se com o facto de esta metodologia consistir num processo para o desenvolvimento de ferramentas conceptuais, processos de pensamento e ações, e por isso, promover a alteração dos conhecimentos prévios dos estudantes, a fim de aproximá-los progressivamente do conhecimento científico (Lopes & Costa, 2007).

(ii) Também foi definido como objetivo a análise dos modelos mentais dos estudantes da amostra, antes da aplicação do PI, através de um pré-teste. Face aos resultados obtidos, não podemos afirmar que os modelos mentais dos estudantes sobre o “efeito dos sismos em solos e edifícios” eram totalmente inconsistentes com o modelo cientificamente aceite.

Encontrámos várias explicações para este resultado, nomeadamente o facto de a maioria dos estudantes já ter abordado alguns destes conteúdos durante o ensino secundário. Além disso, a sismologia é uma das ciências à qual é dado algum destaque nos jornais e na televisão, principalmente devido ao impacto que estes fenómenos possuem nas comunidades que afeta. Não podemos, por isso, ignorar a importância que os *media* têm na disseminação da ciência, que neste caso, poderá influenciar o conhecimento dos estudantes e, até por ventura, suscitar o seu interesse e curiosidade por esta temática.

Ainda assim, de acordo com as respostas do pré-teste, é possível listar os conteúdos em que os modelos mentais dos estudantes apresentavam maiores fragilidades, destacando-se:

- a compreensão das características dos diferentes tipos de solo, e como é que este aspeto influencia o seu comportamento aquando da ocorrência de um abalo sísmico;
- a noção de risco sísmico e as variáveis que intervêm na sua avaliação, como a vulnerabilidade e a perigosidade;
- a perceção e distinção dos fatores que influenciam as variáveis que contribuem para a definição e avaliação do risco sísmico.

(iii) Com este trabalho pretendia-se também aferir a potencialidade de diferentes tipos de modelos, nomeadamente o modelo computacional, o modelo físico e o modelo misto, na aprendizagem significativa de estudantes do ensino superior. Para isso foi desenvolvido e aplicado um PI, tendo por base a modelação.

Todos os modelos foram desenvolvidos e adaptados à amostra do estudo, tendo sido explorados em cada uma das três aulas que constituíram o PI. Durante o período em que decorreu o PI, os estudantes participaram ativamente nas atividades, colocando questões e discutindo com os colegas todos os conteúdos que estavam a ser lecionados.

Não foram preenchidas grelhas de observação de aula, mas a recolha de indicadores relativamente à opinião dos estudantes sobre as aulas foi levada a cabo através das entrevistas semiestruturadas. No geral, os comentários dos estudantes entrevistados relativamente à forma como decorreram as aulas e sobre a exploração dos modelos foram positivos, e nenhum se mostrou constrangido pela aplicação de uma metodologia diferente das que habitualmente utilizam.

Em relação aos modelos aplicados no PI, é possível listar as suas vantagens e limitações, não só de acordo com as opiniões dos estudantes, mas também tendo em conta a visão dos próprios investigadores.

Em primeiro lugar, os estudantes reconheceram vantagens do uso dos diferentes modelos, destacando-se, de seguida, algumas delas.

– O **modelo computacional** é prático, objetivo e simples, porque quase todos os estudantes consideraram que ele era fácil de manipular. A praticidade do modelo prende-se com o facto de ser fácil e rápida a repetição de todos os processos, em poucos minutos, e em qualquer lugar, incluindo nas suas casas. Contudo, os estudantes apontam como principal fragilidade deste modelo o facto de ser limitado, uma vez que não permite escolher e definir livremente quais as variáveis que pretendemos manipular, pois o software é programado para uma finalidade específica.

Do ponto de vista dos investigadores há outras limitações detetadas, como, por exemplo, o fato de este modelo, bem como outros modelos com a mesma tipologia, estarem disponíveis apenas na língua inglesa, o que pode condicionar a sua utilização, dificultando a compreensão dos estudantes não-nativos. Além disso, a maioria destes modelos estão disponíveis na Internet, e por isso o acesso ao software requer uma conexão Wi-Fi, podendo, em certos casos, ser também necessária a compra de uma licença de utilização.

No entanto, não podemos deixar de enfatizar que o principal atributo do modelo computacional, e o que o torna apelativo para os estudantes, é o facto de estar intimamente relacionado com a tecnologia, algo com o qual os estudantes, hoje em dia, estão totalmente familiarizados. Na verdade, tal como Marco Moreira (2014) também afirma, os modelos computacionais constituem um dos pilares fundamentais do desenvolvimento científico atual. Por isso mesmo, facilmente se tornam um instrumento motivacional para os estudantes, independentemente do seu valor pedagógico.

– O **modelo físico**, de acordo com a opinião dos estudantes, foi o que mais se aproximou da realidade, pois permitia-lhes observar a simulação do fenómeno em tempo real, podendo selecionar e decidir quais as variáveis que pretendiam testar, ou até mesmo, alterar essas variáveis durante a exploração do modelo. Todos estes aspetos tornam este modelo mais interessante e, ao mesmo tempo, mais visual para os utilizadores.

Não obstante, os estudantes enunciam como limitações o seu tamanho e peso, e a sua difícil manipulação porque, neste caso em particular, como o motor mecânico da mesa vibratória era muito sensível, exigia movimentos suaves ao pressionar o botão para ligar o berbequim (motor), e para que o modelo funcionasse corretamente.

Enquanto investigadora, na minha reflexão sobre esta tipologia de modelo posso, de facto, afirmar que é realmente mais interessante do que o modelo computacional, e potencia mais rapidamente a motivação dos estudantes durante a aula. Além disso, por permitir selecionar quais as variáveis a estudar, permite que o docente tenha mais liberdade para definir e organizar o funcionamento da aula. Assim, ele pode decidir quais as variáveis a explorar com os estudantes, ou até deixar que sejam os próprios alunos a definirem o que pretendem analisar. Apesar de este último argumento ser considerado uma vantagem, também pode ser visto como uma limitação, uma vez que implica que os docentes tenham um conhecimento consistente e aprofundado sobre o modelo e todas as suas características e aplicações (Justi & Gilbert, 2002; Krill & Krüger, 2016). Neste sentido, pressupõe que os professores estejam bem preparados, tentando antecipar as questões que os estudantes possam colocar.

De acordo com os pressupostos da modelação, os estudantes devem refletir sobre o problema a que pretendem dar resposta, para definirem que tipo de modelo devem desenvolver, pois todo este processo contribui para o desenvolvimento da sua aprendizagem, que se quer significativa (Clement, 2008). Nas palavras de Coll e Lajium (2011):

Depois da hipótese ou descoberta ter sido feita, o modelo poderá ser usado para o seu posterior desenvolvimento – de uma perspectiva teórica ou experimental. Assim que o modelo é desenvolvido, ele tem de ser testado, e por isso os modelos assumem um papel importante na avaliação da hipótese, e na avaliação dos argumentos a favor ou contra a hipótese. (p. 8)

Neste trabalho os modelos não foram construídos pelos estudantes, pelo menos no que respeita ao aparato físico, devido a limitações de tempo, mesmo em aulas com quatro horas de duração. Esta representa a maior limitação deste tipo de modelo, e considerando que a maioria das aulas de ciências em Portugal, mesmo no ensino superior, têm uma duração não superior a duas horas, este constrangimento de tempo torna difícil para os alunos a análise e reflexão sobre a construção do modelo.

Por isso, todo o trabalho de planeamento de aulas segundo a modelação, onde sejam explorados modelos físicos são especialmente exigentes, sendo fundamental que os docentes, que às vezes não têm disponibilidade, ou mesmo recursos ou habilidade/criatividade, construam um bom modelo para explorar durante as aulas. Aliás, vários autores, como Louca e colaboradores (2011), Justi & Gilbert (2002) e Schwarz (2009), apontam estes aspetos, associados à parca experiência dos docentes, como os principais motivos para a rara utilização da modelação na Educação em Ciências.

– Finalmente, os estudantes consideraram que as vantagens e limitações do **modelo misto** eram muito semelhantes às do modelo físico.

Concordamos com este ponto de vista, principalmente no que respeita às limitações que são para nós muito semelhantes às do modelo físico. Mas, em relação às suas vantagens, devemos dizer que este modelo é o mais claro de todos, e é o único que permite observar em simultâneo a simulação do fenómeno e o registo das ondas sísmicas. Este aspeto é fundamental, uma vez que este modelo permitiu que os estudantes observassem a ocorrência de todo o fenómeno, incluindo a receção das ondas sísmicas num sismógrafo, de forma semelhante ao que acontece na Natureza.

Como já mencionámos, a implementação do PI foi bem-sucedida, não só porque conseguimos promover a participação dinâmica dos estudantes e a sua motivação, mas também porque concluímos que os ajudou a reestruturar os seus modelos mentais sobre

o “efeito dos sismos em solos e edifícios”. A análise das respostas dos estudantes no pré e no pós-teste, permitiu constatar uma melhoria dos seus resultados, corroborando o que é afirmado na literatura, ou seja, a reestruturação dos modelos mentais dos estudantes relativamente a estes conteúdos.

À semelhança do que é defendido por Krell e Krüger (2016) o envolvimento prático dos estudantes em atividades baseadas na modelação, *permite uma aprendizagem mais significativa dos conceitos científicos e da ciência.* (p. 170)

Além disso, verificámos que estes resultados são significativos neste contexto, uma vez o Teste de Wilcoxon permitiu rejeitar a hipótese de que a média dos resultados dos estudantes no pós-teste fosse igual à média dos seus resultados no pré-teste, para um intervalo de confiança elevado.

Associado a este último objetivo, pretendia-se também determinar qual dos três modelos explorados durante a aplicação do PI, tinha um contributo maior na reestruturação dos modelos mentais dos estudantes do ensino superior, e na promoção da sua aprendizagem significativa. Os resultados obtidos através da análise da *Escala de Avaliação de Modelos de Sismologia – SMES*, permitiram perceber que o modelo misto é o melhor tipo de modelo para promover a construção do conhecimento dos estudantes, o que inclui a reestruturação dos seus modelos mentais e também o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa. Estes resultados eram esperados por nós, desde o início do estudo.

Tendo em consideração as características dos modelos computacionais e dos modelos físicos, entendeu-se ser pertinente o desenvolvimento de um modelo que integrasse as principais potencialidades de cada um dos modelos anteriores, na tentativa de minimizar as limitações dos outros dois e melhorar o processo de construção do conhecimento.

Para além de todas estas considerações, há ainda alguns aspetos que merecem ser alvo de análise e reflexão, uma vez que possuem elevada importância no desenvolvimento deste estudo. Um desses fatores está relacionado com a perceção dos estudantes sobre a importância dos modelos e da Modelação na Ciência. Através da aplicação do questionário MMS – *Modelos e Modelação em Ciência*, percebeu-se que os estudantes compreenderam os principais pressupostos dos modelos e o papel que os cientistas desempenham no desenvolvimento dos modelos científicos, e de que forma ocorre o seu processo de validação e aceitação pela comunidade científica.

Também neste aspeto se pode considerar que a investigação foi bem-sucedida, pois conseguiu-se:

- Elucidar os estudantes para a importância dos modelos, não só como instrumentos pedagógicos, mas também como componentes essenciais da construção científica e cognitiva (Moreira, 2014);
- À semelhança do que é defendido por Louca e seus colaboradores (2011), proporcionar aos estudantes a oportunidade de observar, refletir e discutir em conjunto aspetos científicos relacionados com o tema em estudo.

Graças a algumas respostas dos estudantes, que se referiam aos modelos utilizados durante a implementação do PI, acreditamos que a modelação desempenhou, de facto, um papel importante, ao auxiliar os estudantes na compreensão da importância dos modelos na Ciência.

Graças a esta metodologia, aplicada nas aulas do PI, os estudantes perceberam que:

- podem existir vários modelos diferentes para a explicação do mesmo fenómeno natural, pois cada um depende dos conhecimentos desenvolvidos pelos cientistas que o propõe e defendem;
- os cientistas, e toda a comunidade científica são importantes no processo de avaliação e aceitação dos modelos científicos, embora a análise e a avaliação que fazem dos modelos dependa dos seus próprios conhecimentos, ou seja, dos seus modelos mentais;
- os modelos científicos estão constantemente a ser testados, alterados e aperfeiçoados, em função da evolução dos conhecimentos dos cientistas (Schwarz *et al.*, 2009).

8.2.

Limitações do estudo

Parte da reflexão crítica inerente ao trabalho desenvolvido inclui a análise e apresentação de algumas limitações deste estudo.

Em primeiro lugar, é importante enfatizar a dificuldade em aceder aos modelos mentais dos estudantes, isto é, aos seus conhecimentos verdadeiros e genuínos. Na verdade, apenas se consegue ter acesso aos seus modelos expressos, ou seja, ao conhecimento que nós procurámos e questionámos, e que pode, obviamente, ser limitado, quando comparado com a totalidade do conhecimento dos estudantes relativamente à temática em estudo. Na tentativa de minimizar este facto, foram aplicados diferentes instrumentos de recolha de dados e foram realizadas diferentes atividades durante o PI. No contexto ajudaram a confirmar que os modelos expressos pelos estudantes correspondiam efetivamente aos seus modelos mentais.

Outra limitação deste estudo é a dificuldade de planificar as aulas, de acordo com a modelação. A implementação desta metodologia pode ter limitações ao nível da gestão do tempo necessário para as atividades e para a discussão com os alunos, que são essenciais nesta metodologia, mas requerem muito tempo na sala de aula. Este facto foi tido em conta na preparação do PI. Além disso, é importante refletir sobre este assunto, porque permite compreender as dificuldades que os professores enfrentam na sua rotina diária na escola/universidade. Se este aspecto não for cuidado pode influenciar negativamente a implementação da metodologia.

Devido a alguns constrangimentos temporais, nomeadamente a duração do programa doutoral, apenas foi possível aplicar uma vez o PI. Esta situação pode também ser considerada uma limitação, uma vez que os resultados obtidos não puderam ser comparados, embora, como já foi referido, a validade e a fidelidade dos instrumentos nos garanta confiança nos dados.

Neste tipo de estudos, a reflexão sobre os processos e os resultados são cruciais para avaliar o seu potencial. Não obstante, refletir sobre as suas limitações também é

importante ao permitir pensar nos possíveis obstáculos que os outros investigadores/professores podem enfrentar durante a sua atividade. Tendo isso em mente, enfatizamos a importância de aplicar e repetir este estudo em contexto real de sala de aula, à semelhança do que foi feito. Somente essa realidade nos pode ajudar a compreender as reais limitações e os ajustes necessários para viabilizar o sucesso destes métodos de ensino em diferentes realidades.

8.3.

Considerações e implicações em futuras investigações

Segundo Mendonça e Justi (2011), a aplicação da modelação é importante para apoiar o processo de construção do conhecimento científico dos estudantes do ensino superior, nomeadamente o efeito dos sismos em solos e edifícios. Considera-se fundamental realizar uma exploração mais aprofundada desta metodologia e a sua aplicação em alunos de outras faixas etárias. Isso possibilitará entender como diferentes grupos de estudantes reagem à aplicação da modelação e que ajustes devem ser feitos para que a sua aplicação seja melhorada em cada contexto.

A definição de categorias de modelos, apesar de não ser um processo linear, também é fundamental. Não só porque nos ajuda a organizar os modelos de acordo com suas características e propósitos (Boulter & Buckley, 2000; Gilbert & Ireton, 2003), mas porque auxilia os estudantes a compreender que um determinado fenómeno pode ser representado através de vários modelos diferentes. Neste sentido, elucida os estudantes para a importância dos modelos na explicação dos fenómenos naturais, e também os auxilia na construção de modelos mentais robustos e coerentes sobre o fenómeno, como é reivindicado por Boulter e Buckley (2000).

De facto, com este estudo, pudemos observar que a aplicação e a manipulação/exploração de diferentes tipos de modelos para ensinar certos conteúdos científicos, permite aos estudantes compreender as suas potencialidades e limitações. Além disso, permite entender melhor os fenómenos naturais em estudo, pois possibilita a sua exploração através de diferentes abordagens. Tendo isto em mente, acreditamos que o uso de diferentes tipos de modelos ou modelos que incluem diferentes componentes, como os modelos mistos, pode potenciar a aprendizagem dos estudantes.

Desta forma, sugere-se a realização de estudos com o mesmo âmbito, aplicado às mesmas temáticas, mas onde sejam exploradas e analisadas diferentes tipologias

de modelos. Os resultados desses estudos poderão possibilitar o estabelecimento de comparações com os dados recolhidos neste trabalho.

Por fim, considera-se também fundamental continuar a divulgação dos resultados deste estudo a outros investigadores, pois isso possibilitará a promoção da discussão sobre estes resultados, contactando com outras realidades, o que promoverá a reflexão sobre os pontos fortes e as fragilidades da metodologia e o intercâmbio de experiências com outros professores e cientistas.

Sabemos e comprovámos com este trabalho, que esta metodologia melhora a aprendizagem dos estudantes do ensino superior. Não obstante, a divulgação dos trabalhos de investigação e a partilha dos resultados é fundamental para o enriquecimento das práticas letivas. Estas são formas de tornar possível reunir conhecimento dos diferentes contextos em que os modelos são aplicados bem como os obstáculos que surgem na sua aplicação e refletir sobre as mudanças que são necessárias para que a modelação seja bem sucedida no ensino dos Riscos Naturais no Ensino Superior.

8.4.

Referências bibliográficas

- Boulter, C. J. & Buckley, B. C. (2000). Constructing a typology of models for science education, In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.). *Developing Models in Science Education* (pp. 41-58), London: Kluwer Academic Publishers.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education, *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 1041-1053.
- Coll, R. K. & Lajium, D. (2011). Modelling and the future of Science learning. In M. S. Khine & I. M. Saleh (Eds). *Models and Modelling: Cognitive tools for Scientific Enquiry*, Springer, pp. 3-22.
- Gilbert, S. W. & Ireton, S. W. (2003). *Understanding Models in Earth and Space Science*, National Science Teachers Association: Virginia, USA.
- Justi, R. & Gilbert, J. K. (2002a). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modelers. *International Journal of Science Education*, 24(4), pp. 369-387.
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2002b). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(12), pp. 1273-1292.
- Krell, M. & Krüger, D. (2016). Testing Models: A Key Aspect to Promote Teaching Activities Related to Models and Modelling in Biology Lessons? *Journal of Biological Education*, 50(2), pp. 160-173.
- Lopes, J. B. & Costa, N. (2007). The Evaluation of Modelling Competences: Difficulties and potentials for the learning of the sciences. *International Journal of Science Education*, 29(7), pp. 811-851.
- Louca, T. L., & Zacharia, C. Z. (2012). Modeling-based learning in science education: cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions, *Educational Review*, 64(4), pp. 471-492.

- Louca T. L., Zacharia, Z. C., & Constantinou, C. P. (2011). In Quest of Productive Modeling-Based Learning Discourse in Elementary School Science, *Journal of Research in Science Teaching*, 48(8), pp. 919-951.
- Mendonça, P. C. C. & Justi, R. (2011). Contributions of the Model of Modelling Diagram to the Learning of Ionic Bonding: Analysis of a Case Study. *Research In Science Education*, 41, pp. 479–503.
- Moreira, M. A. (2014). Modelos científicos, modelos mentais, modelagem computacional e modelagem matemática: aspectos epistemológicos e implicações para o ensino. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência & Tecnologia*, 7(2), 20 pp.
- Schwarz, C. (2009). Developing preservice elementary teachers' knowledge and practices through modeling-centered scientific inquiry. *Science Education*, 93, pp. 720-744.
- Schwarz, C. V. *et al.* (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), pp. 632-654.

APÊNDICES

Apêndice/ Appendix 1

Coefficient of Simple Congruency is used when all the variables or dimensions have the same weight in the evaluation. The formula is:

$$C_{ij} = 1 - \left(\frac{D_{ij}}{D_{max}} \right)$$

C_{ij} , means the Simple Congruency of the values

D_{ij} , means the Euclidean Distance between profiles in a p - dimensional space, and its formula is:

$$D_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (X_{ik} - X_{jk})^2}$$

D_{max} , means the Maximum Distance lied for the common scale of the p – dimensions, and its formula is:

$$D_{max} = T\sqrt{p}$$

Where: $k \in \{1, 2, \dots, p\}$

p , is the Number of dimensions of the profile

X_{ik} , is the value of the profile i in the dimension k

X_{jk} , is the value of the profile j in the dimension k

T , is the difference between the maximum and the minimum values of the scale.

The formula for the *Configurational Similarity coefficient* is:

$$CS = \frac{\sum_{k=1}^p |d_{1(k)} - d_{2(k)}|}{\sum_{k=1}^p |d_{1(k)} + d_{2(k)}| + \sum_{k=1}^p |d_{1(k)} - d_{2(k)}|}$$

Where: $k \in \{1, 2, \dots, p\}$

p is The Number of dimensions of the profile

If $k = 1$ then $d_{i(k)} = d_{j(k)}$

If $2 \leq k \leq p$ then $d_{i(k)} = X_{i(k-1)} - X_{i(k)}$ and $d_{j(k)} = X_{j(k-1)} - X_{j(k)}$

$d_{i(k)}$ is The Difference between successive values of the X_i

$d_{j(k)}$ is The Difference between successive values of the X_j

Apêndice/Appendix 2

Seismic effects on soils and buildings – Questionnaire (TTDT)

This questionnaire was elaborated to a study concerning the seismic effects on soils and buildings, and intend to 1st grade students from undergraduate degree in Geology and, master course in Biology and Geology teaching. The objective is to survey your opinions about this issue. There are no right or wrong answers. We guarantee the data confidentiality and anonymity.

Thank you for collaboration!

For each question, classify the sentence as True, False or Don't know, noted with a X in respective square. Next, please select only one option (a, b, c or d), which justify the previous sentence. If you choose option d, write an explanation that you consider more appropriate.

<p>1. Rayleigh waves (R) are superficial waves.</p> <p><input type="checkbox"/> True <input type="checkbox"/> False <input type="checkbox"/> Don't know</p> <p>Because:</p> <p>a) They are extremely destructive waves.</p> <p>b) Their amplitude rapidly decreases with depth.</p> <p>c) S waves are surface waves.</p> <p>d) Other. _____</p>	<p>4. Soil slope is responsible for the vulnerability of a region.</p> <p><input type="checkbox"/> True <input type="checkbox"/> False <input type="checkbox"/> Don't know</p> <p>Because:</p> <p>a) Vulnerability corresponds to alterations caused by human actions which influence its behaviour.</p> <p>b) The only relevant factor is soil composition.</p> <p>c) Soil slope is responsible for the increase of seismic intensity.</p> <p>d) Other. _____</p>
<p>2. Modified Mercalli Scale measures the seismic magnitude.</p> <p><input type="checkbox"/> True <input type="checkbox"/> False <input type="checkbox"/> Don't know</p> <p>Because:</p> <p>a) Modified Mercalli Scale measures seismic intensity.</p> <p>b) Modified Mercalli Scale measures the energy release in the seismic focus.</p> <p>c) The maximum magnitude of an earthquake is 10.</p> <p>d) Other. _____</p>	<p>5. Artificially filled grounds which are created to construction levelling have high seismic effect.</p> <p><input type="checkbox"/> True <input type="checkbox"/> False <input type="checkbox"/> Don't know</p> <p>Because:</p> <p>a) Artificially filled grounds are constituted by unconsolidated soils.</p> <p>b) Artificially filled grounds are constituted by different types of rocks.</p> <p>c) Seismic intensity effect is not considered in artificially filled ground.</p> <p>d) Other. _____</p>
<p>3. Regions located in granitic massifs have a null seismic amplification effect or even a mitigating effect.</p> <p><input type="checkbox"/> True <input type="checkbox"/> False <input type="checkbox"/> Don't know</p> <p>Because:</p> <p>a) Granite is an unconsolidated rock.</p> <p>b) Seismic amplification effect is almost zero in soils constituted by firm rocks.</p> <p>c) Granite is always an earthquakes' resistant rock.</p> <p>d) Other. _____</p>	<p>6. Building construction influences the seismic risk in a region.</p> <p><input type="checkbox"/> True <input type="checkbox"/> False <input type="checkbox"/> Don't know</p> <p>Because:</p> <p>a) Seismic risk depends on regions' vulnerability.</p> <p>b) Only the soil properties influence the seismic risk.</p> <p>c) Some materials and techniques used in building construction give them a weak response to seismic waves.</p> <p>d) Other. _____</p>

<p>7. Earthquake is felt with more intensity in a region with sandy soil than a granite soil.</p> <p><input type="checkbox"/> True <input type="checkbox"/> False <input type="checkbox"/> Don't know</p> <p>Because:</p> <p>a) Sandy soils have a higher seismic intensity effect.</p> <p>b) Granitic soils have a higher seismic intensity effect.</p> <p>c) The intensity which people feel the earthquake depends on the structure of the buildings that are located in each region.</p> <p>d) Other. _____</p>	<p>10. Seismic effect is very important on the evaluation of soil response to the effects of seismic waves.</p> <p><input type="checkbox"/> True <input type="checkbox"/> False <input type="checkbox"/> Don't know</p> <p>Because:</p> <p>a) Soil response depends on its composition and the aggregation degree of its components.</p> <p>b) Soils from nearby regions have a similar seismic intensity effect.</p> <p>c) The human action on soil influences its response to an earthquake.</p> <p>d) Other. _____</p>
<p>8. People located in nearby regions feel the earthquake with same intensity.</p> <p><input type="checkbox"/> True <input type="checkbox"/> False <input type="checkbox"/> Don't know</p> <p>Because:</p> <p>a) People from regions located at the same distance to the epicentre, feel the earthquake with the same intensity.</p> <p>b) Soils where people are located during an earthquake may have different responses to the seismic waves.</p> <p>c) People have different sensitivity to feel the earthquake.</p> <p>d) Other. _____</p>	<p>11. Earthquakes could be predicted.</p> <p><input type="checkbox"/> True <input type="checkbox"/> False <input type="checkbox"/> Don't know</p> <p>Because:</p> <p>a) Earthquakes' prediction is important to minimize damages on buildings and population.</p> <p>b) Nowadays there are many techniques and instruments used to predict the earthquakes.</p> <p>c) There are many instruments and techniques which allow us to study the seismic hazard in a region, however it is a non-deterministic natural phenomenon, and its prediction is most of the time impossible.</p> <p>d) Other. _____</p>
<p>9. Hazard is a factor responsible for the existence of soils with high seismic risk.</p> <p><input type="checkbox"/> True <input type="checkbox"/> False <input type="checkbox"/> Don't know</p> <p>Because:</p> <p>a) Hazard refers to natural factors which influence soils' seismic response.</p> <p>b) Hazard includes peoples' behaviour, which influence soils properties.</p> <p>c) The most significant factor is vulnerability.</p> <p>d) Other. _____</p>	<p>12. Earthquake effects could be "controlled" if people are accordingly educated.</p> <p><input type="checkbox"/> True <input type="checkbox"/> False <input type="checkbox"/> Don't know</p> <p>Because:</p> <p>a) Population does not have any change to survive during an earthquake.</p> <p>b) People education includes learning some safety measures to adopt during an earthquake.</p> <p>c) During an earthquake, population turns vulnerable, and provokes unexpected results.</p> <p>d) Other. _____</p>
	<p>Personal characterization:</p> <p>Age (until the end of 2012): _____</p> <p>Gender: <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F</p> <p>University: _____</p> <p>Course: _____</p> <p>Grade: _____</p>

Please, check if you answered all the questions!

Apêndice/Appendix 3



Pré-teste e Pós-teste

Este estudo decorre no âmbito da tese de doutoramento em Ensino e Divulgação das Ciências – especialização em Ensino das Ciências, com o tema “Dos Modelos Mentais aos Modelos Curriculares através da Modelação: um estudo no Ensino Superior na temática dos Riscos Naturais”. Agradecemos desde já a ajuda prestada e lembramos que a participação neste estudo é voluntária.

Toda a informação disponibilizada é confidencial, e será garantido o anonimato dos participantes deste estudo. Se pretender colaborar connosco solicitamos que preencha os campos seguintes. Leia com atenção todas as indicações e no final confirme se preencheu todos os campos.

Obrigada pela colaboração!

IDENTIFICAÇÃO DO PARTICIPANTE

Código de Identificação: _____

(NOTA: Para garantir o anonimato, deve escolher um código de identificação composto por 5 caracteres – **letras maiúsculas e números**. Pedimos que guarde este código para futuras utilizações, pois será o único código usado para sua identificação.)

DADOS SOCIODEMOGRÁFICOS

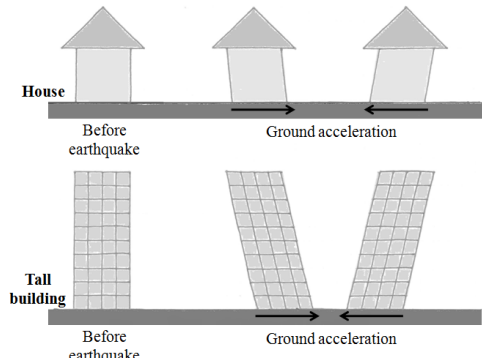
Sexo:	Feminino <input type="checkbox"/>	Masculino <input type="checkbox"/>
Ano de nascimento:	_____	Idade: _____ (até ao final de 2015)
Nacionalidade:	_____	
Naturalidade:	_____	Contacto: _____
Grau que frequenta:	_____	Ano: _____ (exemplo: licenciatura, mestrado, doutoramento, pós-graduação)
Designação do Curso que frequenta:	_____	
Universidade que frequenta:	_____	
Habilitações académicas:	_____ (exemplo: 12ºano do curso de ciências e tecnologias, licenciatura em biologia na FCUP, licenciatura em engenharia geológica na FEUP...)	

Em cada questão, classifique a afirmação como *Verdadeira*, *Falsa* ou *Não sei*, assinalando um **X** dentro do respetivo quadrado. De seguida, selecione **apenas uma** das opções (a, b, c ou d) que, na sua opinião justificam a resposta anterior, indicando (no caso da opção d) uma justificação que considere mais apropriada.

<p>1. As ondas de Rayleigh (R) são ondas de superfície.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadeiro <input type="checkbox"/> Falso <input type="checkbox"/> Não sei</p> <p>Porque:</p> <p>a) São ondas altamente destrutivas. b) A sua amplitude diminui rapidamente com a profundidade. c) As ondas de superfície são as ondas S. d) Outra. _____</p>	<p>4. O declive do terreno é um fator responsável pela vulnerabilidade sísmica de uma região.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadeiro <input type="checkbox"/> Falso <input type="checkbox"/> Não sei</p> <p>Porque:</p> <p>a) A vulnerabilidade corresponde a alterações provocadas por ações humanas que influenciam o seu comportamento. b) O único fator relevante é a composição do solo. c) O declive é responsável pelo aumento da intensidade sísmica numa região. d) Outra. _____</p>
<p>2. A escala de Mercalli modificada mede a magnitude do sismo.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadeiro <input type="checkbox"/> Falso <input type="checkbox"/> Não sei</p> <p>Porque:</p> <p>a) A escala de Mercalli modificada mede a intensidade. b) A escala de Mercalli modificada mede a energia libertada no foco sísmico. c) A magnitude máxima que um sismo pode atingir é 10. d) Outra. _____</p>	<p>5. Os aterros criados para nivelamento de terrenos para construção possuem efeitos de sítio intensos.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadeiro <input type="checkbox"/> Falso <input type="checkbox"/> Não sei</p> <p>Porque:</p> <p>a) Os aterros são constituídos por solos pouco consolidados. b) Os aterros são constituídos por diferentes tipos de rochas. c) O efeito de sítio é desprezado neste tipo de solo. d) Outra. _____</p>
<p>3. As regiões localizadas em maciços graníticos são têm um efeito de amplificação nulo ou até atenuante.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadeiro <input type="checkbox"/> Falso <input type="checkbox"/> Não sei</p> <p>Porque:</p> <p>a) O granito é uma rocha pouco consolidada. b) O efeito de sítio aproxima-se de zero em solos constituídos por rochas consolidadas. c) O granito é uma rocha sempre resistente aos sismos. d) Outra. _____</p>	<p>6. A construção dos edifícios influencia o risco sísmico de uma região.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadeiro <input type="checkbox"/> Falso <input type="checkbox"/> Não sei</p> <p>Porque:</p> <p>a) O risco sísmico depende da vulnerabilidade da região. b) Apenas as propriedades do solo influenciam o risco sísmico. c) Alguns materiais e técnicas usadas na construção dos edifícios conferem-lhes uma resposta frágil às ondas sísmicas. d) Outra. _____</p>

<p>7. Um sismo é sentido com maior intensidade numa região com solo arenoso do que num maciço granítico.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadeiro <input type="checkbox"/> Falso <input type="checkbox"/> Não sei</p> <p>Porque:</p> <p>a) O solo arenoso possui um incremento de intensidade sísmica mais elevado.</p> <p>b) O solo granítico tem um efeito de sítio superior.</p> <p>c) A intensidade com que o sismo é sentido depende da estrutura dos edifícios localizados em cada região.</p> <p>d) Outra. _____</p> <p>_____</p>	<p>10. O tipo de solo condiciona o efeito de sítio e é assim preponderante na avaliação da resposta do solo à passagem da energia sísmica.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadeiro <input type="checkbox"/> Falso <input type="checkbox"/> Não sei</p> <p>Porque:</p> <p>a) A resposta do solo depende da sua composição e do grau de agregação dos componentes que o constituem.</p> <p>b) Os solos de regiões próximas têm efeitos de sítio semelhantes.</p> <p>c) A resposta do solo depende essencialmente da ação que o Homem tem sobre ele.</p> <p>d) Outra. _____</p> <p>_____</p>
<p>8. As pessoas situadas em regiões próximas sentem a intensidade de um sismo de forma idêntica.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadeiro <input type="checkbox"/> Falso <input type="checkbox"/> Não sei</p> <p>Porque:</p> <p>a) As pessoas de regiões localizadas a distâncias semelhantes do epicentro sentem o sismo com a mesma intensidade.</p> <p>b) O solo onde as pessoas se encontram pode ter respostas diferentes às ondas sísmicas.</p> <p>c) A sensibilidade que as pessoas têm para sentir o sismo é diferente.</p> <p>d) Outra. _____</p> <p>_____</p>	<p>11. Todos os sismos podem ser previstos.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadeiro <input type="checkbox"/> Falso <input type="checkbox"/> Não sei</p> <p>Porque:</p> <p>a) A previsão dos sismos é importante para minimizar os danos causados nos edifícios e, nas populações.</p> <p>b) Atualmente existem várias técnicas e instrumentos que são usados na previsão de sismos.</p> <p>c) Existem instrumentos e técnicas que permitem estudar a perigosidade sísmica de uma região, mas por se tratar de um fenómeno natural não determinístico, a previsão dos sismos nem sempre é possível.</p> <p>d) Outra. _____</p> <p>_____</p>
<p>9. A existência de solos aumenta a perigosidade e assim constitui um fator contributivo para um elevado risco sísmico.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadeiro <input type="checkbox"/> Falso <input type="checkbox"/> Não sei</p> <p>Porque:</p> <p>a) A perigosidade refere-se a fatores naturais que no caso dos sismos influenciam a sua resposta.</p> <p>b) A perigosidade compreende o comportamento da população face à ocorrência de um sismo, tendo influência sobre as propriedades do solo.</p> <p>c) A vulnerabilidade é o fator mais significativo.</p> <p>d) Outra. _____</p> <p>_____</p>	<p>12. Algumas consequências dos sismos podem ser “controladas” se a população for educada nesse sentido.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadeiro <input type="checkbox"/> Falso <input type="checkbox"/> Não sei</p> <p>Porque:</p> <p>a) A população não tem qualquer forma de sobreviver a um sismo.</p> <p>b) A educação da população compreende a aprendizagem de medidas de segurança a adotar durante um sismo.</p> <p>c) Durante um sismo, a população torna-se extremamente vulnerável, gerando resultados inevitáveis.</p> <p>d) Outra. _____</p> <p>_____</p>

13. Numa dada região, a altura das construções é um fator importante na avaliação do risco sísmico.

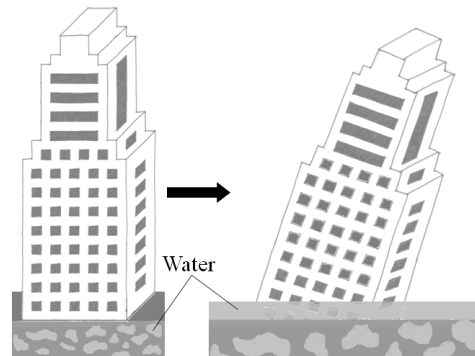


☐ Verdadeiro ☐ Falso ☐ Não sei

Porque:

- A queda de uma construção mais alta provoca mais danos nas populações.
- O fator preponderante na avaliação do risco sísmico é o solo e as suas características.
- Quanto mais afastado do solo estiver o centro de massa de uma construção, maior será o seu desequilíbrio.
- Outra. _____

14. O efeito de liquefação consiste na resposta de um solo consolidado face a um abalo sísmico.



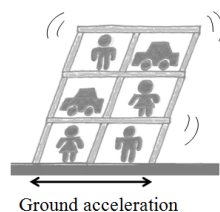
☐ Verdadeiro ☐ Falso ☐ Não sei

Porque:

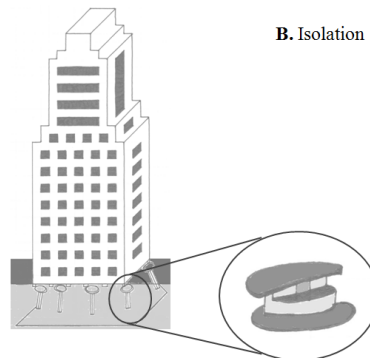
- Consiste na capacidade de um solo se comportar como um líquido face ao abalo.
- O efeito de liquefação é comum em solos saturados onde a vibração provoca o afastamento das partículas do solo.
- Nos solos consolidados as partículas estão mais próximas, por isso são mais suscetíveis a este efeito.
- Outra. _____

15. O isolamento sísmico pretende reduzir a transmissão das acelerações horizontais do solo à estrutura dos edifícios.

A. No isolation



B. Isolation



☐ Verdadeiro ☐ Falso ☐ Não sei

Porque:

- É criada uma superfície horizontal de descontinuidade flexível, que anula a transmissão de movimentos de translação entre a fundação e a estrutura do edifício.
- Os edifícios com este isolamento tendem a oscilar mais, e por isso tornam-se mais instáveis.
- Esta tecnologia é adequada a estruturas pouco vulneráveis, para se garantir o seu funcionamento em caso de ocorrência sísmica.
- Outra. _____

POR FAVOR, VERIFIQUE SE RESPONDEU A TODAS AS QUESTÕES.

Apêndice/Appendix 4

Código de Identificação:

Escala de Avaliação de Modelos de Sismologia

Para cada uma das afirmações referentes aos três modelos analisados, assinale com um **X** o valor da escala (1 a 5) que melhor representa a sua opinião.

	Modelos Afirmações	MODELO COMPUTACIONAL – SIMULADOR					MODELO FÍSICO – MESA SÍSMICA					MODELO MISTO				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	Ajuda a compreender como ocorrem os sismos.															
2	Apresenta as características das ondas sísmicas e como se propagam.															
3	Esclarece dúvidas sobre o comportamento de alguns materiais.															
4	Auxilia a compreensão do efeito dos sismos nos solos e edifícios.															
5	Facilita a aproximação a fenómenos naturais.															
6	Permite manipular variáveis que intervêm durante a ocorrência de um sismo.															
7	Ajuda na construção/restruturação das representações mentais sobre o fenómeno.															
8	Permite fazer previsões sobre os fenómenos sísmicos.															
9	Auxilia na resolução de problemas teóricos e práticos.															
10	Permite testar ideias.															

Legenda: 1 – Discordo completamente; 2 – Discordo; 3 – Não concordo nem discordo; 4 – Concordo; 5 – Concordo completamente.

POR FAVOR, VERIFIQUE SE RESPONDEU A TODAS AS QUESTÕES.

Obrigada pela colaboração!

Apêndice/Appendix 5

Código de Identificação:

Questionário “Visões de Modelos e Modelação em Ciência”

Em cada questão selecione a opção com que está mais de acordo, **justificando** a sua resposta.

- 1) Os modelos e a modelação são importantes na compreensão da ciência.

Os modelos são:

- a) Representações de ideias sobre como ocorrem os fenómenos.
- b) Duplicações precisas da realidade.

Justifique.

- 2) As ideias científicas podem ser explicadas através de:

- a) Apenas um modelo – cada fenómeno só pode ser explicado através de um único modelo.
- b) Um modelo – mas podem existir outros modelos para explicar as mesmas ideias.

Justifique. _____

- 3) Quando os cientistas recorrem aos modelos e a modelação em ciência para investigar um fenómeno, eles podem:

- a) Usar apenas um modelo para explicar os fenómenos científicos.
- b) Usar vários modelos para explicar os fenómenos científicos.

Justifique. _____

4) Quando um modelo é proposto para apoiar uma nova teoria científica, os cientistas devem decidir se o aceitam ou não. A sua decisão é:

- a) Baseada em factos que suportam o modelo e a teoria.
- b) Influenciada pelos seus sentimentos ou motivos pessoais.

Justifique. _____

5) A aceitação de um novo modelo científico:

- a) Requer suporte da grande maioria dos cientistas.
- b) Ocorre quando ele pode ser usado com sucesso para explicar resultados.

Justifique. _____

6) Os modelos científicos são construídos durante um longo período de tempo através do trabalho de vários cientistas, na tentativa de perceberem os fenómenos científicos. Graças a isso, os modelos científicos:

- a) Não podem ser alterados em anos futuros.
- b) Podem ser alterados em anos futuros.

Justifique. _____

POR FAVOR, CONFIRME SE RESPONDEU A TODAS AS QUESTÕES.

Obrigada pela colaboração!

Apêndice/Appendix 6

Guião das entrevistas – tipo I

Grupo alvo: Alunos que responderam acertadamente na questão 1 no pré-teste e, erradamente no pós-teste.

Questões:

Relembra as respostas que deste na **questão 1** do questionário que preenchestes:

1º Questionário	2º Questionário
<p>10. As ondas de Rayleigh (R) são ondas de superfície.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadeiro <input type="checkbox"/> Falso <input type="checkbox"/> Não sei</p> <p>Porque:</p> <p>e) São ondas altamente destrutivas. f) A sua amplitude diminui rapidamente com a profundidade. g) As ondas de superfície são as ondas S. h) Outra.</p>	<p>1. As ondas de Rayleigh (R) são ondas de superfície.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadeiro <input type="checkbox"/> Falso <input type="checkbox"/> Não sei</p> <p>Porque:</p> <p>a) São ondas altamente destrutivas. b) A sua amplitude diminui rapidamente com a profundidade. c) As ondas de superfície são as ondas S. d) Outra. _____</p>

1. O que te levou a alterar a tua resposta de um questionário para o outro?
2. Os temas abordados nas aulas influenciaram a alteração da tua resposta?
 - 2.1. Porquê?
 - 2.2. Qual tema(s)?
3. Algum dos modelos usados nas aulas te permitiu compreender melhor a questão e alterar a tua resposta?
 - 3.1. Se sim, qual dos modelos?
4. Na tua opinião, qual dos três modelos é melhor para lecionar conteúdos relacionados com o efeito dos sismos em solos e edifícios?
 - 4.1. Porquê?

Obrigada pela colaboração!

Apêndice/Appendix 7

Guião das entrevistas – tipo II

Grupo alvo: Alunos com respostas fora da média da amostra (resultaram que melhoraram muito; resultados que pioraram; resultados sem alteração).

Questões:

1. O que te levou a alterar as tuas respostas de um questionário para o outro?
2. Os temas abordados nas aulas influenciaram a alteração das tuas respostas?
 - 2.1. Porquê?
 - 2.2. Qual(ais) tema(s)?
3. Algum dos modelos usados nas aulas te permitiu compreender melhor/pior as questões e alterar a tua resposta?
 - 3.1. Se sim, qual dos modelos?
4. Na tua opinião, qual dos três modelos é melhor para lecionar conteúdos relacionados com o efeito dos sismos em solos e edifícios?
5. Na tua opinião, qual o melhor modelo para:
 - 5.1. O desenvolvimento de raciocínio científico (exemplificar ...)?
 - 5.1.1. Porquê?
 - 5.2. Elaborar processos científicos (dar exemplos de...)?
 - 5.2.1. Porquê?
 - 5.3. Compreender algumas características da Natureza da Ciência (dar exemplos de...)?
 - 5.3.1. Porquê?
6. Quais as duas maiores vantagens e desvantagens de cada um dos três modelos explorados?

Obrigada pela colaboração!

Apêndice/Appendix 8

Planificação das aulas de Riscos Geológicos 2014/2015 – Programa de Intervenção

Aula/ Data	Temas/Conceitos	Atividades	Materiais	Mediação do Professor	Duração
Aula 1: 9 abril 2015	<ul style="list-style-type: none">• Sismo e ondas sísmicas;• Foco e epicentro;• Magnitude e Escala de Richter;• Intensidade e Escala de Mercalli;• Perigosidade;• Vulnerabilidade;• Efeito de liquefação;• Efeito dos sismos em edifícios.	1. Realização de um teste diagnóstico;	Pré-teste	Orientação e esclarecimento de dúvidas pontuais.	1h
		2. Cenário de exploração do tema;	Cenário “sismos”	Apresentação do cenário com suporte em PowerPoint.	1h
		3. Levantamento de questões;	Apresentação Powerpoint “Efeito dos sismos em solos e edifícios – parte I”	Exploração de alguns conceitos básicos de sismologia e levantamento dos modelos mentais dos estudantes sobre o tema com recurso a uma apresentação PowerPoint.	
		4. Apresentação de conceitos gerais de sismologia;		Cenário “A Terra está a tremer: o que é que vai acontecer?”	Orientação dos estudantes na formulação das questões do segundo cenário.
		5. Cenário de problematização;	Computador com ligação à internet e Simulador		Apresentação do modelo computacional aos estudantes.
		6. Levantamento de questões;		Modelo computacional e Ficha de exploração do modelo computacional	Orientação dos estudantes na realização das atividades.
		7. Apresentação e exploração do modelo computacional;			
		8. Realização de atividades no modelo computacional.			
Competências	<ul style="list-style-type: none">• Compreender as noções de sismo, relembrando os conceitos de onda sísmica, foco e epicentro;• Saber reconhecer escala de avaliação de sismos, com base em variáveis específicas;• Refletir sobre o efeito dos sismos em solos e edifícios, com base na análise de documentos e na exploração de modelos.				

Aula/ Data	Temas/Conceitos	Atividades	Materiais	Mediação do Professor	Duração
Aula 2: 16 abril 2015	<ul style="list-style-type: none"> Sismo e ondas sísmicas; Intensidade e Escala de Mercalli; Perigosidade; Vulnerabilidade; Efeito de liquefação; Isolamento sísmico de base; Efeito da altura dos edifícios na resposta ao abalo sísmico; Efeito da estrutura dos edifícios na resposta ao abalo sísmico. 	1. Resumo da aula anterior e sintetização das atividades realizadas;	Apresentação PowerPoint	Orientação dos estudantes na sintetização das ideias principais	15 min
		2. Apresentação de cenário de exploração;	Cenário em vídeo “Sismos pelo mundo”	Apresentação do cenário em vídeo e orientação dos estudantes na sua exploração	10 min
		3. Discussão e levantamento de questões;			
		4. Apresentação de conceitos gerais de sismologia;	Apresentação PowerPoint “Efeito dos sismos em solos e edifícios – parte II”	Exploração de alguns conceitos relacionados com a temática e levantamento dos modelos mentais dos estudantes	1h
		5. Exploração do cenário de problematização;	Cenário “Geofísica em ação – avaliação do risco sísmico”	Orientação dos estudantes na exploração do cenário	20 min
		6. Apresentação e exploração do modelo físico;	Mesa Sísmica	Apresentação do modelo físico aos estudantes	1h
		7. Realização de atividades recorrendo ao modelo físico.	Modelo Físico e Ficha de exploração do modelo físico	Orientação dos estudantes na realização das atividades	1h
Competências	<ul style="list-style-type: none"> Reconhecer e compreender o conceito de risco sísmico, bem como saber distinguir as variáveis que o influenciam; Refletir sobre o efeito de diferentes fatores/variáveis no comportamento dos solos e dos edifícios durante a ocorrência de um sismo, recorrendo à exploração de modelos. 				

Aula/ Data	Tema/ Conceitos	Atividades	Materiais	Mediação do Professor	Duração
<div>Aula 3:</div> <div>23 abril 2015</div>	<ul style="list-style-type: none"> Sismo e ondas sísmicas; Isolamento sísmico de base; História da sismologia; Evolução dos instrumentos de deteção sísmica; Sismógrafo e sismograma; Previsão sísmica; Medidas de prevenção sísmica. 	1. Resumo da aula anterior e sintetização das atividades realizadas;	Cenário (continuação)	Orientação dos estudantes na sintetização das ideias principais	10 min
		2. Apresentação e exploração de documentário sobre ponte antissísmica;	Apresentação: Efeito dos sismos em solos e edifícios – parte III	Apresentação do documentário com suporte em PowerPoint	1.30 h
		3. Apresentação e exploração de conceitos relacionados com a prevenção e previsão sísmica;			
		4. Apresentação e exploração do modelo misto;	Modelo Misto	Apresentação do modelo misto aos estudantes	10 min
		5. Realização de atividades recorrendo ao modelo misto;		Orientação dos estudantes na exploração do modelo e na realização da atividade	1h
		6. Realização do pós-teste;	Pós-teste	Orientação e esclarecimento de dúvidas pontuais	1h
		7. Preenchimento de um questionário sobre modelos e uma escala de avaliação de modelos.	Questionário sobre modelos e modelação		
			Escala de avaliação de modelos		
Competências	<ul style="list-style-type: none"> Analisar e discutir medidas de prevenção sísmica a aplicar em regiões de elevado risco sísmico, com base em cenários de problematização; Compreender a importância da evolução da Ciência e Tecnologia na avaliação do efeito dos sismos em solos e edifícios, com base em episódios de história da Ciência, nomeadamente a história da sismologia e a evolução dos instrumentos de deteção sísmica; Mobilizar conhecimentos desenvolvidos em aulas anteriores para a interpretação de registos dos sismógrafos, com base na exploração de modelos. 				

Apêndice/Appendix 9

JOURNAL OF SCIENCE EDUCATION

REVISTA DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS



March 2016

Dr. Sara Moutinho & Clara Vasconcelos

Portugal

[Dear Authors,](#)

We inform you that your article:

Model-Based Learning applied to Natural Hazards

Aprendizaje-basado en Modelos aplicado a los riesgos naturales

Sara Moutinho¹ & Clara Vasconcelos

is accepted for the publication in the N 2, vol. 18, 2017 (July 2017) of the Journal of Science Education, the bilingual and international journal. You'll receive copies of this issue on CD and Pdf files.

Yours sincerely

YURI ORLIK

CChem FRSC (London)

Director Journal of Science Education , Colombia

Phone/fax (571)7333182 ; e mail: joapd11@gmail.com

WEB page with Virtual Journal : <http://www.accefyn.org.co/rec>

Sunday, April 9, 2017 at 12:07:36 PM Western European Summer Time

Assunto: FW: UPDATE SGEM Ar/cle/s: 1, 2, 3 - 11209, Rui Moura, Portugal
Data: domingo, 9 de abril de 2017, 12:07:03 Hora de verão da Europa Ocidental
De: Rui Moura
Anexos:

A 2016-12-05 11:29, SGEM GeoConference escreveu:

Dear Assoc. Prof. Rui Moura,

Thank you for your email.

Kindly be informed that due to the late payment of your registra/on fee, and as communicated to you via email on the 26th of June, the following /tles:

1. IS THAT SIMPLE TO IMPLEMENT MODELS AND NATURE OF SCIENCE IN GEOSCIENCE CLASSES?
2. **MENTAL MODELS ABOUT NATURAL HAZARDS: A STUDY WITH GRADUATION STUDENTS**
3. GEOPHYSICS IN GOLD EXPLORATION: SOME APPLICATIONS TO NORTHERN PORTUGAL GOLD DEPOSITS

are scheduled to be included in the SGEM 2017 GeoConference Proceedings.
In case you need any further informa/on or require assistance, please do not hesitate to contact us.

Remaining at your disposal, we are wishing you a very nice day!

Kind regards,

SGEM Organizing Team

Interna/onal Mul/disciplinary Scien/fic GeoConference SGEM
E-mail: sgem@sgem.org
URL: [hdp://sgem.org/](http://sgem.org/)
FAX: +359 2 405 1865
Facebook | Twider | LinkedIn | [SGEM@Lib](#)

EJMSTE-00866-2016-03



Authors:

Sara Moutinho, Rui Moura, CLARA VASCONCELOS

Decision letter:

March 06, 2017

EJMSTE-00866-2016-03

Contributions of Model-Based Learning to the restructuring
of graduation students' Mental Models on Natural Hazards

Dear Prof. CLARA VASCONCELOS,

I am pleased to inform you that your manuscript, entitled: Contributions of Model-Based Learning to the restructuring of graduation students' Mental Models on Natural Hazards, has been finally accepted for publication in our journal.

Thank you for submitting your work to us.

Kindest regards,

Chun-Yen Chang

Editor-in-Chief

Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education